Google

This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter http://books.google.com durchsuchen.

Handbuch

der

Wasserbaukunst

von

G. Hagen.

Dritte neu bearbeitete Auflage.

Zweiter Theil:

Die Ströme.

Erster Band mit 11 Kupfertafeln.

Berlin 1871.

Verlag von Ernst & Korn.

(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Uferschälungen, Strombauten

und

Schiffahrts-Canäle.

Von

G. Hagen.

Dritte neu bearbeitete Auflage.

Erster Band.

Mit einem Atlas von 11 Kupfertafeln in Folio.

Berlin 1871.

Verlag von Ernst & Korn.

(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

25.18

Eng 9 28.69

JUL 10 1917
HARVARD COLLEGE LIBRARY

Inhalts-Verzeichnifs

des ersten Bandes.

Seite

Abschnitt I.

Uferschälungen 1

§. 1. Seitendruck der Erde 3
§. 2. Festigkeit der Mauern 38
§. 3. Stabilität der Futter-Mauern 51
§. 4. Ausführung des Mauerwerks 65
§. 5. Trockne Mauern 94
§. 6. Bohlwerke 99

Abschnitt II.

Allgemeine Eigenschaften der Ströme 131

§. 7. Das Strombett 133
§. 8. Die Ufer 149
§. 9. Seiten-Zuflüsse 169
§. 10. Verschiedene Wasserstände 187

Abschnitt III.

Hydrometrische Arbeiten 213

§. 11. Aufnahme der Stromcharten 215
§. 12. Nivellement des Stroms 224
§. 13. Tiefen-Messungen 228
§. 14. Wasserstands-Beobachtungen 239
§. 15. Geschwindigkeits-Messungen 247

Seite

Abschnitt IV.

Bewegung des Wassers in Strömen 271

§. 16. Ursache der Bewegung 273
§. 17. Mittlere Geschwindigkeit 279
§. 18. Gleichförmige Bewegung 297
§. 19. Ungleichförmige Bewegung 318

Abschnitt V.

Regulirung der Ströme 341

§. 20. Zweck der Stromregulirung 343
§. 21. Wirksamkeit der Strömung 355
§. 22. Uferdeckungen 369
§. 23. Parallelwerke 375
§. 24. Buhnen 379
§. 25. Stromspaltungen 399

Erster Abschnitt.

Uferschälungen.

§. 1.

Seitendruck der Erde.

Die natürlichen Ablagerungen des aufgeschwemmten Bodens und eben so auch die künstlichen Anschüttungen desselben befinden sich nur in dem Falle dauernd im Gleichgewicht, wenn ihre Oberfläche nirgend steil abfällt, sondern überall mit flachen Böschungen in die daneben befindlichen tieferen Stellen des Erdbodens übergeht. Sehr feste Thonufer, wie man solche etwa an der Oder ohnfern des Oder-Bruches vielfach sieht, machen freilich eine Ausnahme, indem sie, ohne durch das darüber fliefsende Wasser merklich angegriffen zu werden, beinahe lothrecht abfallen, und lange Zeit hindurch unverändert ihre Formen erhalten. Auch niedrige Anschüttungen aus zähem und dicht gelagertem Thon bedürfen Anfangs keiner flachen Böschungen, indem die starke Cohäsion des Materials jede Trennung verhindert, und die Masse so dicht ist, dafs kein Wasser eindringen kann, welches die Verbindung lockern würde. Diese Fälle sind indessen nur Ausnahmen von der allgemeinen Regel, und in den meisten Erdarten, deren Cohäsion nur schwach ist, bilden sich bald an gewissen Stellen Bruchflächen aus, über welche die steilen Abhänge herabgleiten, so dafs flache Böschungen entstehn, die dem Gleichgewicht entsprechen.

Will man daher eine natürliche Anhöhe oder eine künstliche Anschüttung auf einer Seite steil ansteigen lassen, so mufs man sie in irgend einer Weise befestigen. Wenn die beabsichtigte Neigung sich aber dem Lothe nähert, oder dasselbe erreicht, so wird die Einfassung durch eine feste Wand nothwendig, gegen welche die dahinter befindliche Erde sich sicher stützen kann und dadurch am Herabfallen verhindert wird.

Bestehn solche Einfassungen aus Mauerwerk, so heifsen sie Futtermauern, wenn sie dagegen aus Holz oder Eisen erbaut sind, so nennt man sie Bohlwerke. Werden die Neigungen flacher, so genügen schon Abpflasterungen und Zäunungen und selbst Buschpflanzungen und Rasen. Vorzugsweise kommen Anlagen solcher Art an den Ufern der Flüsse und überhaupt neben gröfseren Gewässern vor. Man nennt sie alsdann im Allgemeinen Uferschälungen, sie heifsen aber Kaimauern, wenn sie massiv sind und ein Kai, oder einen Anlegeplatz für Schiffe darstellen.

Um die Stärke, so wie die sonstige Anordnung der Futtermauern zu bestimmen, mufs man den Seitendruck kennen, welchen die dahinter liegende Erde gegen sie ausübt. Letzterer ist von vielen äufsern Umständen und Zufälligkeiten abhängig, die man nach den bisherigen Beobachtungen mit der Rechnung nicht sicher verfolgen kann. So verstärkt sich zum Beispiel bei Benutzung derselben Hinterfüllungs-Erde der Druck ungemein, sobald dieselbe fest angestampft wird. Auch das Wasser wirkt in gleicher Weise, wenn es den Boden stark durchzieht und ihn mehr oder weniger in einen zähen Brei verwandelt. Vorzugsweise nachtheilig ist aber der Frost, der das Volum des eingedrungenen Wassers beim Gefrieren desselben vergröfsert und mit unwiderstehlicher Gewalt die Mauer zurückdrängt.

Mit Rücksicht auf diese Umstände darf man sich niemals mit derjenigen Mauerstärke begnügen, welche die nachstehende Untersuchung ergiebt, die sich nur auf normale Zustände bezieht. Es dürfte fast scheinen, dafs bei solcher Unsicherheit die theoretische Behandlung des Gegenstandes entbehrlich wäre, nichts desto weniger gewährt diese den grofsen Nutzen, dafs sie den Zusammenhang der Erscheinung erklärt, und dieses ist im vorliegenden Falle um so mehr geboten, als die bisherige Lösung der Aufgabe fehlerhaft war.

Bélidor*) hat zuerst die Gröfse des Erddrucks zu bestimmen versucht. Er ging dabei aber von Voraussetzungen aus, die nicht nur willkührlich gewählt, sondern auch offenbar unrichtig waren. Da man aber seine Regeln und Tabellen in gewissen Kreisen auch noch zum Grunde legt, so mögen diese Voraussetzungen kurz berührt werden. Diese sind folgende. Die Hinterfüllungs-Erde zerspaltet

*) *La Science des Ingenieurs.* 1729. *Liv. I. §.* 32.

gleichzeitig in eine grofse Anzahl dünner Schichten, die sämmtlich unter 45 Graden gegen den Horizont geneigt sind. Eine jede derselben drückt in der Art auf die Futtermauer, dafs der Horizontal-Druck, den sie verursacht, ihrem Gewichte gleich sein würde, wenn keine Cohäsion zwischen den Schichten statt fände. Letztere hebt aber die Hälfte des Gewichtes auf, und sonach ist der Druck nur dem halben Gewichte der betreffenden Schichten gleich. Auf solche Art berechnet Bélidor den Druck, den die verschiedenen Theile der Mauer leiden, und unter Voraussetzung eines innigen Zusammenhanges dieser Theile bestimmt er die erforderliche Stabilität der Mauer. Die Fehlerhaftigkeit dieser Hypothesen ist gröfstentheils an sich klar, zum Theil wird sie sich aber aus dem Folgenden ergeben.

Coulomb *) betrachtete den Gegenstand unter einem richtigeren Gesichtspunkte. Nach ihm bildet sich der Horizontal-Druck durch ein abbrechendes Erd-Prisma, welches längs der schrägen Bruchfläche herabzugleiten strebt. Der Winkel, unter welchem die Trennung erfolgt, ist zunächst noch unbekannt, und man mufs daher unendlich viele solcher Prismen in Betracht ziehn. Dieselben üben indessen keineswegs gleiche Pressungen gegen die bewegliche Wand aus, es giebt vielmehr unter ihnen eins, welches den stärksten Druck veranlafst. Wenn daher die Wand diesem hinreichenden Widerstand entgegensetzt, so besitzt sie die nöthige Stabilität.

Diese Auffassung hat sowol in Frankreich, wie in Deutschland allgemein Eingang gefunden, indem Prony und Eytelwein sich ihr anschlossen. Sie unterliegt auch keinem Bedenken, wenn man die Verhältnisse so auffafst, wie sie sich in allen Fällen, beim Einsturz von Schälungsmauern oder beim Nachgeben andrer hinterfüllten Wände wirklich darstellen. Hinter der bereits ausgeführten Wand wird die Erdschüttung nach und nach erhöht, oder wenn dieses schon geschehn ist, verstärkt sich vielleicht in Folge äufserer Umstände später der Druck, den sie ausübt. Andrerseits kann aber auch die Widerstandsfähigkeit der Wand mit der Zeit sich vermindern. In beiden Fällen verringert sich die Stabilität der Wand vergleichungsweise gegen den Druck, den sie erfährt, und dem sie bisher den nöthigen Widerstand entgegensetzte. Ein Ausweichen oder ein Einsturz kann nicht erfolgen, so lange noch keines von jenen unendlich vielen Erd-

---

*) *Mémoire des savans étrangers.* 1773.

prismen einen Druck ausübt, der die Bewegung der Wand veranlafst. Bei der vorausgesetzten Aenderung der Verhältnisse kann aber endlich der Zeitpunkt eintreten, wo diese Bedingung nicht mehr erfüllt wird, und alsdann wird zunächst dasjenige Prisma wirksam, welches den stärksten Druck ausübt. Leistet die Wand diesem den nöthigen Widerstand, so besitzt sie hinreichende Stabilität, und es kommt sonach nur darauf an, den Druck dieses Prismas zu kennen.

Obwohl nach dieser Vorstellungsart eine unendlich grofse Anzahl von Prismen vorhanden ist, von denen jedes einzelne in Wirksamkeit treten würde, wenn die betreffende Bruchebene sich leichter, als die der übrigen bilden möchte, so folgt daraus doch keineswegs, dafs die sämmtlichen Prismen gleichzeitig denjenigen Druck auf die Wand ausüben, den jedes einzelne veranlassen würde, wenn es allein wirksam wäre. Geschähe dieses, so müfste der Gesammt-Druck unendlich grofs sein, alsdann müfste aber auch jedes Körnchen der Schüttung gleichzeitig unendlich viele Wirkungen, und zwar jede mit seinem vollen Gewichte ausüben, was unmöglich ist. Es schien nöthig, diesem Einwande zu begegnen, der in der That zuweilen angeregt ist.

In der weitern Behandlung der Aufgabe hat Coulomb den Seitendruck berechnet, den ein Prisma ausübt, welches sich in einer Bruchebene trennt, die unter einem gewissen, noch unbekannten Winkel geneigt ist, und schliefslich denjenigen Werth dieses Winkels bestimmt, wobei der Seitendruck ein Maximum wird. Auch dieses Verfahren ist an sich unbedenklich, doch ist darin bei Zerlegung der Kräfte ein Irrthum vorgekommen, von dem man auch später sich nicht getrennt hat, vielleicht weil er zu einem besonders einfachen Schlufsresultate führte.

Ich will den Gang dieser Untersuchnng, wie Prony *) dieselbe geführt hat, mittheilen, weil sie, von jenem Irrthum abgesehn, den Gegenstand mit grofser Geschicklichkeit behandelt, und nicht nur die Reibung, sondern auch die Cohäsion der Hinterfüllungs-Erde berücksichtigt. Im Wesentlichen stimmt sie mit den sonstigen Herleitungen überein.

In Fig. 1 auf Taf. I sei AB die bewegliche senkrechte Wand,

*) *Recherches sur la poussée des terres. Paris* 1802.

wogegen die Erdmasse $DABE$ sich lehnt, und zwar sei letztere in ihrer Oberfläche horizontal abgeglichen. Die Länge der Wand oder der Erdschüttung sei gleich b und die Höhe der letzteren über dem untern Rande der Wand h. Es wird angenommen, dafs beim Fortschieben der Wand ein Theil der Hinterfüllung sich in der geneigten Ebene CB von der übrigen Masse trennt, und als zusammenhängendes Prisma auf der letzteren herabgleitet. Natürlich wird diese Ebene den Fufs der Wand schneiden, weil sie nur in diesem Falle den stärksten Druck daraufausüben kann, vorausgesetzt dafs die Wand, wie die Schüttung in ihrer ganzen Höhe als gleichmäfsig angenommen wird. Die Bruchebene sei unter dem Winkel φ gegen das Loth geneigt, ferner bezeichne f den Reibungs-Coefficient der Erdtheilchen unter sich, c ihre Cohäsion in der Flächeneinheit, und γ das Gewicht einer Raumeinheit der Erde.

Das Gewicht des sich trennenden Prismas ist hiernach

$$\frac{1}{2} b h^2 \gamma . tgt \varphi$$

folglich der Druck desselben parallel zur Bruch-Ebene

$$\frac{1}{2} b h^2 \gamma . Sin \varphi$$

dieser Druck wird aber durch die Reibung in der Bruchebene gemäfsigt, und diese ist

$$\frac{1}{2} b h^2 \gamma . f . Sin \varphi . tgt \varphi$$

Demnächst behindert auch die Cohäsion das Herabgleiten mit einer Kraft

$$b h c . Sec \varphi$$

der Druck, den das Prisma parallel zur Bruchebene ausübt, ist sonach

$$\frac{1}{2} b h^2 \gamma . Sin \varphi (1 - f tgt \varphi) - b h c . Sec \varphi$$

Führt man statt des Reibungs-Coefficienten f die Function $Cotg \psi$ ein, so verwandelt sich dieser Ausdruck in

$$\frac{1}{2} b h^2 \gamma \frac{tgt \varphi . Sin (\psi - \varphi)}{Sin \psi} - b h c . Sec \varphi$$

Nunmehr wird vorausgesetzt, dafs der gesuchte Horizontal-Druck H sich in zwei Kräfte zerlegt, von denen die eine der Bruchebene parallel, die andre aber normal gegen dieselbe gerichtet ist,

Letztere soll wieder durch die Reibung die erstere verstärken, so daſs parallel zur Bruchebene die Kraft

$$H(Sin\varphi + f\,Cos\varphi) = \frac{H\,Cos(\psi-\varphi)}{Sin\psi}$$

sich bildet, welche dem Herabgleiten des Prismas entgegentritt. Man hat also

$$\frac{1}{2}\,bh^2\gamma\,\frac{tgt\,\varphi\,.\,Sin(\psi-\varphi)}{Sin\psi} - bhc\,Sec\,\varphi = H\,\frac{Cos(\psi-\varphi)}{Sin\psi}$$

oder $$H = \frac{1}{2}\,bh^2\gamma\,.\,tgt\,\varphi\,.\,tgt(\psi-\varphi) - bhc\,\frac{Sin\psi}{Cos\,\varphi\,.\,Cos(\psi-\varphi)}$$

Indem $\psi = (\psi-\varphi)+\varphi$ ist,
so ergiebt sich

$$\frac{Sin\psi}{Cos\,\varphi\,.\,Cos(\psi-\varphi)} = tgt(\psi-\varphi)+tgt\,\varphi$$

Da aber in gleicher Weise auch

$$tgt\psi = \frac{tgt(\psi-\varphi)+tgt\,\varphi}{1-tgt(\psi-\varphi)\,.\,tgt\,\varphi}$$

so ist

$$\frac{Sin\psi}{Cos\,\varphi\,.\,Cos(\psi-\varphi)} = tgt\psi - tgt(\psi-\varphi)\,tgt\psi\,.\,tgt\,\varphi$$

folglich

$$H = \left(\frac{1}{2}\,bh^2\gamma + bhc\,.\,tgt\,\psi\right)tgt(\psi-\varphi)\,tgt\,\varphi - bhc\,.\,tgt\psi$$

Der Winkel φ, unter welchem der Bruch erfolgt, ist noch unbekannt, er bestimmt sich aber dadurch, daſs er dasjenige Prisma einschlieſst, worin H ein Maximum wird, und da φ die einzige Variable ist, so kommt es darauf an, das Product

$$tgt(\psi-\varphi)\,.\,tgt\,\varphi$$

zu einem Maximum zu machen. Dieses geschieht, wenn

$$\psi-\varphi=\varphi$$

oder $$\varphi = \frac{1}{2}\,\psi$$

wird, dadurch verändert sich der Werth für H in

$$H = \frac{1}{2}\,bh^2\gamma\,.\,tgt\,\frac{1}{2}\,\psi^2 - bch\,.\,tgt\,\psi\,(1-tgt\,\frac{1}{2}\,\psi^2$$

aber $$1-tgt\,\frac{1}{2}\,\psi^2 = 2\,\frac{tgt\,\frac{1}{2}\psi}{tgt\,\psi}$$

folglich

$$H = bh^2\,.\,tgt\,\frac{1}{2}\,\psi\left(\frac{1}{2}\,h\gamma\,.\,tgt\,\frac{1}{2}\,\psi - 2c\right)$$

Dieser Ausdruck enthält drei Constanten. Die eine derselben nämlich γ ist durch unmittelbares Wiegen leicht zu bestimmen, dagegen scheint die Ermittelung des Reibungs-Coefficienten, wovon der Winkel ψ abhängt, und der Cohäsion, oder c, schwieriger zu sein. Es lassen sich indessen auch für diese Gröfsen die Werthe durch einfache Beobachtung finden, von denen es nur zu bedauern ist, dafs sie keine grofse Schärfe gestatten.

Um den Winkel ψ zu bestimmen, gab schon Coulomb das folgende Verfahren an. Man schütte die Erde, die man zur Hinterfüllung der Futtermauer benutzen will, auf einen Haufen, und messe die steilste Dossirung, welche sie auf eine gröfsere Länge noch anzunehmen im Stande ist. Nennt man den Winkel, welchen diese Seite mit dem Lothe macht, α, so wird eine in der Oberfläche liegende kleine Quantität Erde q herabzugleiten streben mit einer Kraft gleich

$$q \,.\, Cos\,\alpha$$

der Normaldruck, den sie gegen die Böschung ausübt, ist aber gleich

$$q \,.\, Sin\,\alpha$$

folglich die Reibung, die sie erleidet

$$f\,q \,.\, Sin\,\alpha$$

Indem die Böschung nach der Annahme schon so steil ist, dafs die Erde sich nur eben noch erhält, also die Reibung nicht stärker ist, als der schräge abwärts gerichtete Druck, so hat man

$$q \,.\, Cos\,\alpha = f\,q \,.\, Sin\,\alpha$$

$$\text{oder } f = Cotg\,\alpha = Cotg\,\psi$$

Man bestimmt also den Winkel ψ, oder den Reibungs-Winkel, indem man die Neigung der steilsten Böschung gegen das Loth mifst. Dabei wird jedoch vorausgesetzt, dafs die Erde keine Cohäsion besitzt, sie mufs also frisch aufgeschüttet sein. Für den Fall, dafs man den Boden in seiner natürlichen Ablagerung zur Bestimmung des Reibungswinkels benutzen will, bieten die vorstehenden Gleichungen in Verbindung mit dem folgenden Werthe von c auch hierzu Gelegenheit, wie Prony gezeigt hat, doch übergehe ich die Mittheilung dieses Verfahrens, das bei der Veränderlichkeit der Cohäsion noch weniger zu einem sichern Resultate führen kann.

Zur Bestimmung der Cohäsion oder des Werthes von c hat Prony ein Verfahren angegeben, welches unmittelbar aus dem letzten

Ausdrucke für H hervorgeht. Man untersucht nämlich, bis zu welcher Höhe die Erde sich noch senkrecht abstechen läfst. Das Maximum dieser Höhe sei h', so wird für diesen Fall der Horizontaldruck oder $H=0$, und man hat

$$o = \frac{1}{2} h' \gamma \,.\, tgt \frac{1}{2} \psi - 2c$$

$$\text{oder } c = \frac{1}{4} \gamma h' \,.\, tgt \frac{1}{2} \psi$$

Substituirt man diesen Werth von c in den obigen Ausdruck für H, so erhält man

$$H = \frac{1}{2} b h \gamma \,.\, tgt \frac{1}{2} \psi^2 (h - h')$$

Endlich bleibt noch zu untersuchen, in welcher Höhe die Wand von dem gesammten Horizontal-Druck den sie erfährt, getroffen wird. Ihre Stabilität hängt augenscheinlich hiervon wesentlich ab, doch mufs man dabei voraussetzen, dafs die Bewegung der Wand in der Drehung um eine gewisse horizontale Achse besteht. Sollte sie ohne ihre Stellung zu verändern nur fortgeschoben werden, so ist es gleichgültig, ob der Druck in gröfserer oder geringerer Höhe sie trifft.

Prony nahm an, die Wand könne sich um ihren untern Rand, also um Punkt B drehen. Ihre Höhe oder AB sei wieder $= h$, und einen variabeln Theil derselben AF nenne man z. Wenn AF getrennt gedacht wird, so wird augenscheinlich das Prisma, welches hierauf am stärksten drückt, unter demselben Winkel φ sich trennen, wie dasjenige, welches auf die ganze Wand den stärksten Druck ausübt. Der Druck, den ein Element dz der Wand erfährt, ist gleich

$$dH = k (2z dz - h' dz)$$

$$\text{indem } \frac{1}{2} b \gamma \,.\, tgt \frac{1}{2} \psi^2 = k$$

gesetzt wird. Dieser Druck trifft die Wand im Abstande $h - z$ von der Drehungsachse, sein Moment ist also

$$k (h - z) (2z - h') dz$$

und das Moment des gesammten Druckes von $z = h'$ bis $z = h$

$$= k \left(\frac{1}{3} h^3 - \frac{1}{2} h^2 h' + \frac{1}{6} h'^3 \right)$$

$$= \frac{1}{3} k (h - h')^2 (h + \frac{1}{2} h')$$

dieses durch den ganzen Druck

$$= kh (h - h')$$

dividirt ergiebt endlich den gesuchten Abstand des Mittelpunktes des Druckes vom untern Rande der Wand, oder

$$r = \frac{(h - h')\,(h + \frac{1}{2}h')}{3h}$$

Für den Fall, dafs keine Cohäsion statt findet, oder $h' = 0$ ist, wird

$$r = \frac{1}{3}h$$

$$\text{und } H = \frac{1}{2}bh^2\gamma \,.\, tgt\, \frac{1}{2}\psi^2$$

In der vorstehenden Untersuchung sind einige Voraussetzungen gemacht, die man zwar als richtig anzusehn pflegt, die aber dennoch an sich keineswegs klar sind, und daher eine nähere Prüfung verdienen. Hierher gehört zuerst die Annahme, dafs die Bruchfläche, in welcher sich das Prisma des stärksten Druckes von der übrigen Erdmasse trennt, eine Ebene sei. Coulomb gelang es nicht, den Beweis, den er dafür geben wollte, zu liefern*), und soviel mir bekannt, hat Prony gleichfalls diesen Punkt nicht aufgeklärt, obwohl er in der bezeichneten Abhandlung versprach, die ausführliche Untersuchung über die Form der Bruchfläche später zu geben.

Nach meinem Dafürhalten darf man nicht erwarten, dafs die Bruchfläche unter allen Umständen eine Ebene ist, und namentlich dürfte sie bei partiellen Belastungen der Erdschüttung sich als eine gekrümmte cylindrische Fläche darstellen. Wenn man nämlich von dem Gesichtspunkt ausgeht, dafs jedesmal diejenige Bewegung eintritt, wobei der Schwerpunkt der ganzen getrennten Masse sich am tiefsten senkt, so ist es wahrscheinlich, dafs bei einer Belastung, die ohnfern der Grenze der Bruchfläche liegt, die letztere abwärts gekrümmt sein wird, und sie wird aufwärts gekrümmt sein, wenn die Belastung nahe an der Wand angebracht ist. Finden dagegen solche partielle Belastungen nicht statt, so dürfte die Bruchfläche eine Ebene sein.

Indem es sich hierbei nur um den Eintritt der ersten Bewegung handelt und etwanige spätere Trennungen nicht in Betracht kommen, so darf man voraussetzen, dafs das ganze gelöste Prisma wie ein fester Körper im Zusammenhange fortgeschoben wird. Dieses ist aber nur

---

*) *Essai sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique, relatifs à l'Architecture.* Dieser Aufsatz ist in Coulomb's *Théorie des machines simples* mit abgedruckt.

möglich, wenn die Bruchfläche entweder eine Ebene oder eine Cylinder-Fläche ist. Letztere ist insofern weniger wahrscheinlich, als sie nicht gleichmäfsig gegen den Horizont geneigt ist, und sonach die verschiedenartige Reibung der gemeinsamen Bewegung entgegentreten möchte. Dabei ist indessen auch die Bewegung, welche die Wand beim Ausweichen macht, von grofser Bedeutung. Wird die Wand verschoben, ohne ihre Neigung zu verändern, so wird das gelöste Prisma gleichfalls ohne Aenderung seiner Neigung vorrücken. In diesem Falle ist daher die Bruchfläche eine Ebene. Wenn dagegen die Wand so befestigt ist, dafs sie unter starkem Seitendrucke sich um eine horizontale Achse dreht, so mufs die vordere Fläche des Prismas, welche die Wand berührt, ihre Neigung gleichfalls verändern. In diesem Falle ist daher die Bruchfläche gekrümmt, und zwar wird der Mittelpunkt ihrer Krümmung mit der Drehungsachse der Wand zusammenfallen. Es ist jedoch nicht anzunehmen, dafs das lockere Prisma, von dem ein Theil auf sehr wenig geneigter Fläche sich fortschieben müfste, alsdann noch im Zusammenhange bleiben könnte, man mufs vielmehr voraussetzen, dafs sofort noch andere Trennungen eintreten. Diese Trennungen bedingen aber neue Verstärkungen des Druckes, insofern die Reibung ihnen entgegentritt, und hieraus ergiebt sich, dafs die Wand, wenn sie dem Drucke desjenigen Prismas Widerstand leistet, das sich in einer Ebene von der übrigen Erdmasse ablöst, auch gegen den Druck solcher Prismen hinreichend gesichert ist, die sich in gekrümmten Flächen trennen. Man darf also bei Ermittelung des stärksten Seitendrucks, dem die Wand ausgesetzt ist, die Bruchfläche als eine Ebene ansehn.

Von viel gröfserer Bedeutung ist ein anderes Bedenken gegen die vorstehend mitgetheilte Untersuchung, und dieses bezieht sich auf die Zerlegung der Kräfte, wodurch aus dem Drucke, womit das Prisma auf der Bruchebne herabzugleiten strebt, die Gröfse des Horizontal-Druckes entwickelt ist. Bezeichnet man jenen schräge abwärts gerichteten Druck, bei dem die Reibung bereits berücksichtigt ist, mit P, so dafs wenn die Cohäsion unbeachtet bleibt,

$$P = \frac{1}{2}\, b h^2 \gamma\, \frac{tgt\, \varphi \,.\, Sin\,(\psi - \varphi)}{Sin\, \psi}$$

so wird augenscheinlich ein Horizontaldruck

$$H = P \,.\, Sin\, \varphi$$

schon das Herabgleiten des Prismas verhindern. Nach vorstehender Herleitung wurde dagegen der Horizontaldruck in zwei Kräfte zer-

legt, von denen die eine der Bruchebene parallel, und die andre normal gegen diese gerichtet ist. Sieht man von der Reibung ab, welche der Druck H veranlassen soll, und die in diesem Falle gewifs nicht angenommen werden darf, so ergiebt sich

$$H \,.\, Sin\, \varphi = P \text{ oder } H = P \,.\, Cosec\, \varphi$$

Die Verschiedenheit dieser beiden Werthe von H beruht darauf, dafs der schräge Druck P einmal in eine horizontale und eine vertikale, im zweiten Falle aber in eine horizontale und eine gegen den Bruch normale Kraft zerlegt ist. In Fig. 2 sind die beiden Parallelogramme der Kräfte diesen verschiedenen Auffassungen entsprechend dargestellt. Nach dem ersten ist

$$H = AC = P \,.\, Sin\, \varphi$$

nach dem zweiten dagegen

$$H = DC = \frac{P}{Sin\, \varphi}$$

Man bemerkt sogleich, dafs im letzten Falle die Vergröfserung um AD allein von der schrägen Richtung der Kraft CE herrührt. Zerlegt man diese wieder in eine horizontale und eine vertikale Kraft, so ist der Horizontal-Druck, den sie veranlafst, gleich

$$FE = AD = P \,.\, Cotg\, \varphi \,.\, Cos\, \varphi$$

Der Horizontal-Druck des herabgleitenden Prismas ist also nur

$$DC - AC = P \left(\frac{1}{Sin\, \varphi} - \frac{Cos\, \varphi^2}{Sin\, \varphi} \right)$$
$$= P \,.\, Sin\, \varphi$$

oder so grofs, wie derselbe nach der ersten Zerlegung der Kräfte sich herausstellte.

Die zweite Seite des Kräfte-Parallelogramms also CF oder CE kann man freilich beliebig geneigt denken, da bei der vorausgesetzten gleichmäfsigen Schüttung anzunehmen, dafs in jeder Richtung eine sichere Unterstützung sich bilden wird, es kommt aber bei Zerlegung von P darauf an, der zweiten Kraft solche Richtung zu geben, dafs sie ganz unabhängig von der ersten oder von H ist, sie also Letzteres weder vergröfsert noch vermindert. Sie vergröfsert es, wenn sie zwischen CG und CF, sie vermindert es aber, wenn sie zwischen CF und CB fällt. Es mufs hierbei bemerkt werden, dafs die Richtung CF in keiner Beziehung bedenklich ist, vielmehr spricht für diese sogar der Umstand, dafs sie mit der der Schwere, also mit derjenigen zusammenfällt, in welcher die aufgeschüttete Erde sich schon von selbst am sichersten ablagert.

Anders würde es sein, wenn man die Gröfse einer solchen Horizontal-Kraft suchte, die nicht nur das Herabgleiten des gelösten Prismas verhindert, sondern dieses über die Bruchebne aufwärts schiebt. Alsdann müfste allerdings die Kraft H so zerlegt werden, dafs der parallel zum Bruche gerichtete Theil derselben den gesuchten Druck schon vollständig ausübt, woher die zweite Kraft die Ebene CB nur normal treffen dürfte. Aber auch in diesem Falle wäre die zweimalige Einführung der Reibung nicht gerechtfertigt.

Nachdem Coulomb diese irrthümliche Zerlegung der Kräfte eingeführt hatte, ist dieselbe bisher sowol in Deutschland, wie in Frankreich beibehalten worden, und wird noch allgemein als richtig angesehn. Eytelwein und Prony schlossen sich dieser Auffassung an, und solchen Autoritäten gegenüber durfte kein Zweifel Berücksichtigung finden. Wenn ich aber bereits im Jahre 1833 dagegen ein Bedenken aussprach*), und dieses sogar durch meine directen Beobachtungen begründete, so blieb dasselbe dennoch unbeachtet. In Frankreich ist der Gegenstand später vielfach sehr eingehend behandelt, und namentlich hat man sich dabei die Aufgabe gestellt, die Profile der Schälungsmauern, die dem Erddrucke Widerstand leisten, theils durch Rechnung, theils durch geometrische Constructionen zu bestimmen. Besonders wichtig ist in dieser Beziehung eine Abhandlung von Poncelet, die sich vorzugsweise mit fortificatorischen Anlagen beschäftigt**), auch in mehrfacher Beziehung sehr beachtungswerth ist. Ihr liegt jedoch die von Coulomb gewählte Zerlegung der Kräfte wieder zum Grunde, so wie auch allen übrigen späteren ähnlichen Untersuchungen, die in den *Annales des ponts et chaussées* veröffentlicht sind.

In der deutschen Uebersetzung der Abhandlung von Poncelet***) wird im Anhange meine Auffafsung der Aufgabe mitgetheilt und die daraus hergeleiteten Resultate mit den Beobachtungen von Köszegh verglichen. Es ergiebt sich daraus, dafs der Druck, den in diesen Versuchen die bewegliche Wand erfuhr, in der That bedeutend gröfser war, als er nach meiner Rechnung sich herausstellt. Der Grund dieser Abweichungen liegt indessen keineswegs in der Fehlerhaftigkeit meiner Voraussetzungen, vielmehr in dem Hinzutreten

*) Poggendorff's Annalen. Band 28.

**) *Sur le stabilité des revêtements* im *Mémorial du génie. No.* 13.

***) Ueber die Stabilität der Erdbekleidungen und deren Fundamente von Poncelet, übersetzt von J. W. Lahmeyer. Braunschweig 1844.

eines anderen Umstandes. Ein sehr wichtiges Element, nämlich die durch höhere Aufschüttungen veranlafste dichtere Ablagerung des Bodens, die an sich schon einen starken Seitendruck veranlafst, wird in allen Rechnungen nicht berücksichtigt, und gewifs ist es nicht leicht, ihren Werth auch nur annähernd anzugeben, indem sie durch die Art der Schüttung und Befestigung der Hinterfüllungs-Erde wesentlich bedingt wird. Meine neueren Beobachtungen, deren Resultate ich im Folgenden mittheilen werde, zeigen sehr augenfällig, dafs die leiseste Erschütterung schon den Druck auf die bewegliche Wand merklich vergröfsert, während dadurch weder die Reibung, noch die Cohäsion vermindert, also die Constanten in den Rechnungen nicht verändert werden. Der Zufall hat es also gefügt, dafs jene fehlerhafte Zerlegung der Kräfte einen so starken Horizontal-Druck ergiebt, dafs derselbe einen gewissen Theil des Effectes anderer Ursachen deckt. Uebereinstimmung mit den Beobachtungen durch diesen zufälligen Erfolg ist aber nicht zu erwarten und findet auch wirklich nicht statt, da jener Effect bald gröfser bald kleiner ist. Will man, wie es im vorliegenden Falle nothwendig ist, den nachtheiligen Wirkungen einer complicirten Erscheinung sicher vorbeugen, so mufs man die einzelnen Umstände kennen, die darauf Einfluſs haben. Bei Bestimmung des Seitendrucks der Erde ist das Verhalten der losen Schüttung bisher fast ausschliefslich Gegenstand der Untersuchung gewesen, es bleibt also übrig den Effect der dichteren Ablagerung festzustellen, doch wird dieses nur möglich sein, wenn man denselben in seinem wahren Werthe aus den Beobachtungen herleitet, man darf aber nicht einen unbekannten Theil davon schon auf den Druck der losen Schüttung übertragen.

Bevor ich die Resultate entwickele, die sich aus der richtigen Zerlegung der Kräfte ergeben, mufs ich noch erwähnen, dafs auf diese schon im vorigen Jahrhundert aufmerksam gemacht wurde, also früher als Eytelwein und Prony in dem von Coulomb eingeschlagenen Wege ihre Theorien bekannt machten. In Folge einer von der Petersburger Academie gestellten Preisaufgabe beschäftigte sich Woltman mit der Untersuchung des Seitendrucks der Erde. Er befragte darüber seinen Lehrer, den Professor Kästner in Göttingen, und dieser deutete ihm den Gang der Rechnung an, und

---

*) Woltman, Beiträge zur hydraulischen Architectur. Band III. Göttingen 1794. Seite 153. Satz Nr. 6.

setzte ohne weitere Bemerkung den gesuchten Horizontal-Druck gleich dem schräge abwärts gerichteten Drucke des gelösten Prismas multiplicirt mit dem Sinus des Neigungswinkels der Bruchebne gegen das Loth *). Woltman bemerkte diese Abweichung von Coulomb's Herleitung und theilte seine Bedenken dem ihm befreundeten Niederländischen Ingenieur Brünings mit. Letzterer erklärte sich unbedingt für die Auffassung von Coulomb *), und fügte sogar hinzu, „der verehrungswürdige Kästner sei allen statischen Theorien von Archimedes bis zu de la Grange entgegengetreten." Hiernach mochte Woltman sich weder für die eine, noch für die andre Ansicht aussprechen, und versuchte durch Beobachtungen, von denen weiter die Rede sein wird, ein sicheres Urtheil sich zu bilden, doch gelang ihm auch dieses nicht.

Ich gehe nunmehr zur Berechnung des Seitendrucks der horizontal abgeglichenen Erdschüttungen über, indem ich nur die Reibung im Innern derselben berücksichtige, von der Cohäsion aber absehe, die jedenfalls schwer zu bestimmen und sehr veränderlich ist, beim reinen und trocknen Sande und beim Kiese aber ganz fehlt. Unter Beibehaltung der früher gewählten Bezeichnungen, nämlich der Höhe der Schüttung neben der beweglichen Wand durch h, der Breite derselben durch b, dem Gewicht der Raumeinheit durch γ, des Reibungs-Coefficienten durch $Cotg\,\psi$ und des Neigungswinkels der Bruchebene gegen das Loth durch φ, ist, wie oben, der schräge abwärts gerichtete Druck des sich lösenden Prismas

$$= \frac{1}{2}\, b h^2\, \gamma\, \frac{tgt\,\varphi \,.\, Sin(\psi - \varphi)}{Sin\,\psi}$$

folglich der Horizontal-Druck den die lothrechte Wand erleidet

$$H = \frac{1}{2}\, b h^2\, \gamma\, \frac{Sin\,\varphi \,.\, tgt\,\varphi \,.\, Sin(\psi - \varphi)}{Sin\,\psi}$$

$$\text{oder } H = \frac{1}{2}\, b h^2 \gamma \,.\, A$$

indem

$$\frac{Sin\,\varphi \,.\, tgt\,\varphi \,.\, Sin\,(\psi - \varphi)}{Sin\,\psi} = A$$

gesetzt wird.

Unter allen Prismen, die sich trennen können, übt dasjenige den stärksten Druck aus, in welchem A, oder der Zähler des vor-

*) In demselben Werke. Band IV. Göttingen 1799. Seite 310.

stehenden Bruches ein Maximum wird, weil der Nenner constant ist. Zur Bestimmung von φ dient daher die Bedingung, dafs

$$d\,[Sin\,\varphi\,.\,tgt\,\varphi\,.\,Sin\,(\psi-\varphi)]=o$$

Hieraus ergiebt sich

$$o=tgt\,\varphi^3+3\,.\,tgt\,\varphi-2\,.\,tgt\,\psi$$

also nach der Cardanischen Regel

$$tgt\,\varphi=\sqrt[3]{Sec\,\psi+tgt\,\psi}-\sqrt[3]{Sec\,\psi-tgt\,\psi}$$

Dieser Ausdruck wird für die Rechnung noch etwas bequemer, wenn man ihn unter Einführung einer bekannten trigonometrischen Umformung verwandelt in

$$tgt\,\varphi=\sqrt[3]{tgt\,(45^0+\tfrac{1}{2}\psi)}-\sqrt[3]{Cotg\,(45^0+\tfrac{1}{2}\psi)}$$

Es läfst sich hiernach sehr leicht aus dem Reibungs-Coefficienten $f=Cotg\,\psi$, die Neigung der Bruchebene φ und daraus wieder der Factor A und der gesuchte horizontale Druck H finden. Um jedoch auch diese Rechnung entbehrlich zu machen, habe ich in der nachstehenden Tabelle für jedes ψ die zugehörigen Werthe von φ und A mitgetheilt. Die Ausdehnung der Tabelle von $\psi=0$ bis $\psi=90^0$ dürfte überflüssig erscheinen, da die Hinterfüllungs-Erde an sich wohl niemals eine so grofse oder so geringe Reibung zeigt, bei dem verschiedenen Gehalt an Wasser, den sie indessen theils ursprünglich hat, theils aber auch später aufnehmen kann, ist die Annäherung an diese äufsersten Grenzen doch denkbar, und sonach schien die vollständige Mittheilung nothwendig. *) Dazu kommt noch, dafs bei der grofsen Schwierigkeit, oder vielmehr bei der Unmöglichkeit, den Werth der Cohäsion auch nur annähernd sicher zu bestimmen, es sich empfiehlt, die Cohäsion nicht besonders zu behandeln, sondern sie vereinigt mit der Reibung in Rechnung zu stellen. Man mufs daher untersuchen, wie grofs in jedem Falle und zwar unter den ungünstigsten Verhältnissen, also wenn durch Zutritt von Wasser der Boden gelockert wird, der Reibungswinkel ψ werden kann und diesen in Rechnung stellen.

---

*) Dieselbe Tabelle habe ich schon in dem erwähnten Aufsatze in Poggendorff's Annalen, Band 28, veröffentlicht, doch war die Rechnung damals weniger scharf geführt, und hierdurch erklären sich die mehrfachen Abweichungen in den letzten Decimalen.

ψ	φ	Diff.	A	Diff.
0°	0° 0′,0	40′,0	0,00000	0,00005
1°	0° 40′,0	40′,0	0,00005	0,00013
2°	1° 20′,0	40′,0	0,00018	23
3°	2° 0′,0	40′,0	0,00041	31
4°	2° 40′,0	40′,1	0,00072	41
5°	3° 20′,1	40′,0	0,00113	50
6°	4° 0′,1	40′,1	0,00163	0,00059
7°	4° 40′,2	40′,0	0,00222	68
8°	5° 20′,2	40′,1	0,00290	77
9°	6° 0′,3	40′,1	0,00367	87
10°	6° 40′,4	40′,2	0,00454	96
11°	7° 20′,6	40′,2	0,00550	0,00106
12°	8° 0′,8	40′,2	0,00656	115
13°	8° 41′,0	40′,2	0,00771	125
14°	9° 21′,2	40′,3	0,00896	135
15°	10° 1′,5	40′,4	0,01031	145
16°	10° 41′,9	40′,4	0,01176	0,00154
17°	11° 22′,3	40′,4	0,01330	165
18°	12° 2′,7	40′,5	0,01495	175
19°	12° 43′,2	40′,5	0,01670	185
20°	13° 23′,7	40′,6	0,01855	196
21°	14° 4′,3	40′,7	0,02051	0,00207
22°	14° 45′,0	40′,7	0,02258	218
23°	15° 25′,7	40′,8	0,02476	229
24°	16° 6′,5	40′,9	0,02705	241
25°	16° 47′,4	40′,9	0,02946	251
26°	17° 28′,3	41′,0	0,03197	0,00263
27°	18° 9′,3	41′,2	0,03460	276
28°	18° 50′,5	41′,2	0,03736	288
29°	19° 31′,7	41′,3	0,04024	301
30°	20° 13′,0	41′,4	0,04325	313
31°	20° 54′,4	41′,5	0,04638	0,00327
32°	21° 35′,9	41′,6	0,04965	340
33°	22° 17′,5	41′,8	0,05305	354
34°	22° 59′,3	41′,8	0,05659	369
35°	23° 41′,1	42′,0	0,06028	383
36°	24° 23′,1	42′,1	0,06411	0,00398
37°	25° 5′,2	42′,3	0,06809	413
38°	25° 47′,5	42′,4	0.07222	429
39°	26° 29′,9	42′,6	0,07651	446
40°	27° 12′,5	42′,7	0,08097	462
41°	27° 55′,2		0,08559	

ψ	φ	Diff.	A	Diff.
41°	27° 55′,2	42′,9	0,08559	0,00480
42°	28° 38′,1	43′,1	0,09039	498
43°	29° 21′,2	43′,2	0,09537	517
44°	30° 4′,4	43′,5	0,10054	536
45°	30° 47′,9	43′,6	0,10590	555
46°	31° 31′,5	43′,9	0,11145	0,00576
47°	32° 15′,4	44′,1	0,11721	597
48°	32° 59′,5	44′,3	0,12318	619
49°	33° 43′,8	44′,6	0,12937	643
50°	34° 28′,4	44′,9	0,13580	667
51°	35° 13′,3	45′,1	0,14247	0,00691
52°	35° 58′,4	45′,4	0,14938	717
53°	36° 43′,8	45′,7	0,15655	744
54°	37° 29′,5	46′,1	0,16399	772
55°	38° 15′,6	46′,4	0,17171	801
56°	39° 2′,0	46′,7	0,17972	0,00832
57°	39° 48′,7	47′,2	0,18804	865
58°	40° 35′,9	47′,6	0,19669	898
59°	41° 23′,5	47′,9	0,20567	933
60°	42° 11′,4	48′,5	0,21500	970
61°	42° 59′,9	48′,9	0,22470	0,01009
62°	43° 48′,8	49′,5	0,23479	1050
63°	44° 38′,3	50′,0	0,24529	1094
64°	45° 28′,3	50′,7	0,25623	1140
65°	46° 19′,0	51′,3	0,26763	1188
66°	47° 10′,3	52′,0	0,27951	0,01240
67°	48° 2′,3	52′,7	0,29191	1295
68°	48° 55′,0	53′,6	0,30486	1353
69°	49° 48′,6	54′,5	0,31839	1415
70°	50° 43′,1	55′,5	0,33254	1481
71°	51° 38′,6	56′,5	0,34735	0,01554
72°	52° 35′,1	57′,7	0,36289	1630
73°	53° 32′,8	58′,9	0,37919	1715
74°	54° 31′,7	60′,5	0,39634	1805
75°	55° 32′,2	62′,1	0,41439	1904
76°	56° 34′,3	63′,9	0,43343	0,02012
77°	57° 38′,2	66′,0	0,45355	2131
78°	58° 44′,2	68′,3	0,47486	2264
79°	59° 52′,5	71′,2	0,49750	2412
80°	61° 3′,7	74′,5	0,52162	2581
81°	62° 18′,2		0,54743	

ψ	φ	Diff.	A	Diff.
81°	62° 18′,2	78′,3	0,54743	0,02772
82°	63° 36′,5	83′,2	0,57515	2996
83°	64° 59′,7	89′,3	0,60511	3260
84°	66° 29′,0	97′,1	0,63771	3581
85°	68° 6′,1	107′,9	0,67352	3986
86°	69° 54′,0	123′,7	0,71338	0,04524
87°	71° 57′,7	149′,8	0,75862	5304
88°	74° 27′,5	204′,5	0,81166	6656
89°	77° 52′,0	728′,0	0,87822	0,12178
90°	90° 0′,0		1,00000	

In den bisher mitgetheilten Untersuchungen über den Seitendruck der Erde ist die Reibung der letzteren gegen die bewegliche Wand unberücksichtigt geblieben. Poncelet führte diese in die Rechnung ein, wogegen Saint-Guilhem aus Beobachtungen nachweisen wollte, dafs solche in der That nicht wirksam sei. Es läfst sich nicht annehmen, dafs diese Reibung ganz fehlt, und nie einen Einfluſs auf die Erscheinung hat. Schon im Zustande der Ruhe und bevor die Wand irgend eine Bewegung macht, wird sie unter gewöhnlichen Verhältnissen einen Theil des Gewichtes der darüber liegenden Erde aufheben und dadurch den Druck derselben vermindern, aber man thut gewifs unrecht, wenn man diese Reibung in ihrem vollen Werthe, wie sie sich aus andern Messungen ergiebt, in Ansatz bringt. Obwohl bei eintretender Bewegung die vordere vertikale Erdschicht längs der Wand herabgleitet, so ist doch im Augenblick des Ausweichens der Druck normal gegen die Wand gerichtet, der also keine Reibung veranlafst, und es handelt sich allein um die Kräfte, welche in diesem Moment wirksam sind. Bei Schälungsmauern und Bohlwerken kommt dabei noch ein andrer Umstand in Betracht. Der Anschluſs der Erdschüttungen an dieselben pflegt immer kein inniger zu sein, es bilden sich hier leicht schmale Fugen, in welche das Wasser eindringt und die Reibung wesentlich vermindert. Dieselbe fehlt aber wohl ganz, wenn die Hinterfüllung gar nicht sackt, und wie in meinen Versuchen nur den Horizontal-Druck gegen die Wand ausübt. Aus diesen Gründen dürfte es sich empfehlen, keine merkliche Schwächung des Erddruckes von der Reibung gegen die bewegliche Wand zu erwarten, und solche daher ganz unbeachtet zu lassen.

Von viel gröfserer und sogar von überwiegender Bedeutung ist dagegen die beim Aufbringen der Hinterfüllungs-Erde eintretende dichtere Ablagerung derselben, die man um späteren Versackungen zu begegnen, künstlich zu befördern pflegt. Durch das Anstampfen wird die Reibung wie die Cohäsion verstärkt, aber dessenohnerachtet der Seitendruck nicht vermindert, vielmehr in hohem Grade vermehrt, und dieses so sehr, dafs die Zunahme des Gewichtes der Raumeinheit nicht entfernt diese Wirkung erklärt. Dieselbe wird vielmehr allein dadurch herbeigeführt, dafs die ganze Masse in Bewegung kommt, sich in einander drängt und nach allen Seiten auszuweichen strebt Der Druck, den jeder einzelne Schlag der Ramme ausübt, hört aber mit diesem nicht auf, was bei flüssiger Masse der Fall sein würde, sondern verstärkt sich durch jeden folgenden Schlag. Hierin liegt der Grund, weshalb der Seitendruck nach der obigen Entwickelung, worin dieser Umstand unberücksichtigt blieb, einen viel geringeren Werth annahm, als er nach vielfachen Erfahrungen an eingestürzten Futtermauern wirklich hat. Diese Zunahme ist indessen so sehr von äufsern Umständen abhängig, und es fehlt so vollständig an Beobachtungen, die hierüber einiges Licht verbreiten könnten, dafs die Technik vorläufig sich damit begnügen mufs, aus der Erfahrung gewisse Regeln abzuleiten, die sie bei neuen Anlagen befolgt. Wenn die vorstehenden Mittheilungen sonach auch keineswegs den Gegenstand erschöpfen, so werden sie doch die Mängel in der bisherigen Behandlung desselben zeigen, und zugleich erkennen lassen, welche ferneren Untersuchungen zu seiner Aufklärung nothwendig sind.

Um jedoch ungefähr einen Anhalt zu gewinnen, nach dem man die nöthige Verstärkung der Mauer wegen der festeren Ablagerung der Hinterfüllungserde beurtheilen kann, so mag noch erwähnt werden, dafs unter gewöhnlichen Verhältnissen die Mauer dem Drucke einer in horizontalen Schichten in üblicher Weise angestampften Schüttung genügenden Widerstand leistet, wenn die Stärke der Mauer dem vierten bis dritten Theile ihrer Höhe gleich ist. Nennt man daher die Höhe der Mauer h, so ist ihre Stärke nahe $0{,}3 \cdot h$ und setzt man ferner voraus, dafs das Gewicht ihrer Raumeinheit gleich 1,3 von dem der Hinterfüllungserde, und dafs bei ungenügender Festigkeit der äufsern Mauerkante bei der eintretenden Bewegung die Drehungs-Achse sich von dieser um den fünften Theil der hal-

ben Mauerstärke, also um $0{,}03 . h$ entfernt, so ergiebt sich das Moment, welches der Drehung der Mauer Widerstand leistet

$$M = h . 0{,}3 . h . 1{,}3 . 0{,}12 . h$$
$$= 0{,}0468 . h^3$$

Nimmt man ferner an, dafs der Reibungs-Winkel der Erde mit Rücksicht auf einige Cohäsion oder ψ gleich 50 Graden ist, so ergiebt sich nach Vorstehendem das Moment des Erddruckes, der in der Höhe von $\frac{1}{3} h$ wirksam ist

$$M = \frac{1}{2} h^2 A . \frac{1}{3} h$$
$$= \frac{1}{6} . 0{,}136 . h^3$$
$$= 0{,}0227 . h^3$$

Dieses Moment, das sich auf den Druck der losen Schüttung bezieht, ist also nur ungefähr halb so grofs, als dasjenige, welches die Erfahrung als wirklich eintretend ergeben hat. Hiernach wird man den nach der vorstehenden Rechnung ermittelten Druck verdoppeln müssen, um denjenigen Werth desselben darzustellen, dem die Mauer bei der Compression des Bodens zu widerstehn hat.

Es bleibt noch übrig zu zeigen, dafs die hier vorgetragene Berechnung des Erddruckes, soweit derselbe von losen und nicht cohärirenden Schüttungen herrührt durch die Beobachtung vollständig bestätigt wird. Doch mögen vorher einige andre ähnliche Messungen erwähnt werden.

Wenn die Wand beim Beginn der Bewegung ihre lothrechte Stellung beibehält, so kommt es auf die Höhe, in welcher der Erddruck sich concentrirt, nicht weiter an, doch tritt dieser Fall bei Bohlwerken und Futtermauern wohl niemals ein, vielmehr erfolgt stets ein Ueberneigen der Wand, und um sich vor diesem zu sichern, mufs man die Lage des Angriffspunktes des Druckes kennen. Wird, wie in der vorstehenden Untersuchung, nur die Reibung in der Bruchfläche berücksichtigt, so liegt dieser Punkt offenbar in derjenigen Höhe, in welcher die durch den Schwerpunkt des abbrechenden Prismas parallel zur Bruchebene gelegte Ebene die Wand schneidet, also wenn dreiseitige Prismen sich lösen auf ein Drittel der Höhe der Erdschüttung. Will man dagegen noch andre Kräfte berücksichtigen, so bleibt nur übrig, ein ähnliches Verfahren, wie das von Prony angewandte zu wählen, um die Höhe des Mittelpunktes des Druckes zu finden.

Ich gehe nun zur Beschreibung der Beobachtungen über, die man verschiedentlich über den Erddruck angestellt hat.

Nach dem Woltman, wie bereits erwähnt, von zwei Männern, auf deren Urtheil er grofses Gewicht legte, ganz entgegengesetzte Ansichten vernommen hatte, entschlofs er sich, durch directe Messungen die Entscheidung herbeizuführen. Er versah zu diesem Zwecke einen Kasten von 6 Fufs Länge und 4 Fufs Breite und Höhe an einer der schmalen Seiten mit einer beweglichen Wand, die beliebig oben oder unten an eine horizontale Achse befestigt werden konnte, um welche sie sich drehn liefs. An der dieser Achse entgegengesetzten Seite war eine Leine befestigt, die über oder unter dem Kasten nach einer dahinter angebrachten Rolle gezogen war, und an ihrem Ende eine Schale trug. Auf dieser standen die Gewichte, die nach und nach vermindert wurden, bis die Bewegung der Wand eintrat. Indem bei gleicher Füllung die Drehungs-Achse theils oben, theils unten angebracht wurde, überzeugte sich Woltman, dafs der Angriffs-Punkt des Druckes wirklich in ein Drittel der Höhe der Schüttung fiel, und hiernach konnte die nöthige Reduction des Druckes jedesmal leicht vorgenommen werden.

Zu den Schüttungen, die den Kasten theils ganz, theils aber nur zur Hälfte füllten, wurden verschiedene Materialien, nämlich trockner Flugsand, feuchte Ackererde, Kiesel, Rappsaat und Roggen angewendet, und für jede derselben das Gewicht eines Cubikfufses und zugleich die steilste Neigung, unter der sie sich anschütten liefs, also γ und ψ direct gemessen. Hiernach konnten die Pressungen berechnet werden, welche die Wand nach Brünings oder nach Kästners Ansicht erfahren sollte.

Im Ganzen wurden vierzehn Messungen angestellt, darunter waren aber sechs nur Wiederholungen von früheren und diese ergaben, dafs die Abweichungen, welche allein die Folge der unvermeidlichen Beobachtungsfehler sein konnten, durchschnittlich 10, in einem Falle sogar 22 Procent betrugen. Die Resultate waren also sehr unsicher.

Eine nähere Beschreibung dieser Messungen übergehe ich. Woltman selbst bemerkt, dafs die Beobachtungen sich etwas besser an Kästners Theorie, als an die entgegenstehende anschliefsen. Ich mufs aber erwähnen, dafs nach sorgfältiger Berechnung nach beiden Methoden, der wahrscheinliche Fehler gegen Coulombs Theorie

164 Pfund, gegen die von Kästner aber nur 56 Pfund beträgt. Der Vorzug der letzteren stellt sich also hiernach schon auffallend heraus, wenn gleich der Unterschied zwischen den beobachteten und berechneten Resultaten noch sehr hoch bleibt und einmal sogar 100 Procent beträgt.

Später sind sowol in Frankreich*), wie in Oesterreich**) Seitens der Fortifications-Behörden ähnliche Beobachtungen angestellt und veröffentlicht worden. Die letzteren zeichneten sich durch gröfsere Dimensionen vor allen übrigen aus, indem die bewegliche Wand, die unten ihre Drehungs-Achse hatte, bei der Breite von 3 Fufs, 6 Fufs hoch war, auch wurden unter Anwendung sehr verschiedener Erdarten im Ganzen neun und vierzig Versuche angestellt. Dazu kam noch eine Beobachtung, bei der die bewegliche Wand durch eine wirkliche Mauer von 12 Fufs Länge und 18 Fufs Höhe ersetzt wurde, deren eintretende Neigung und endlichen Einsturz man beobachtete. Bei Mittheilung dieser Versuche wird vielfach auf die Bedeutsamkeit derselben hingewiesen, die sie in Bezug auf ihre grofsen Dimensionen haben, und der Verfasser erklärt sogar alle sonstigen Messungen dieser Art für Spielereien. Bei Vergleichung der beobachteten Pressungen mit der üblichen Theorie wird eine sehr befriedigende Uebereinstimmung nachgewiesen. Doch mufs bemerkt werden, dafs in manchen Fällen nicht alle mitgetheilten Beobachtungen benutzt, vielmehr einzelne derselben, welche diese Uebereinstimmung verhindert hätten, unbeachtet geblieben sind. Besonders auffallend ist es aber, dafs in allen Fällen die Reibung und Cohäsion zwischen den Schüttungen und den festen Seitenwänden (oder Mauern) ganz unberücksichtigt gelassen ist, wiewohl nach meinen Beobachtungen diese einen wesentlichen Einfluſs ausübt, auch lassen die mitgetheilten Zeichnungen von der Gestaltung der abgebrochenen Erde grofsentheils erkennen, dafs kein regelmäfsiges Prisma abbrach, vielmehr selbst nach dem Herabstürzen aller nicht unterstützten Massen die obere Breite des Prismas in der Mitte gröfser war, als an den Seiten, also die Seitenwände die Erde zurückhielten. Es scheint hier wieder der Zufall günstig gewirkt zu ha-

---

*) *Traité expérimental de la poussée des terres par M. Mayniel.* Paris 1808.

**) Versuche über den Seitendruck der Erde von C. Martony de Köszegh. Wien 1828.

ben. Wenn die mangelhafte Theorie, welche auf das Setzen der Erde keine Rücksicht nimmt, den Seitendruck geringer darstellt, als er wirklich ist, so hat die Reibung und Cohäsion an den Seitenwänden, die eben so wenig in Rechnung gestellt wurde, den Fehler zum Theil aufgehoben, so dafs ein Theil der Beobachtungen mit der zum Grunde gelegten Theorie in Uebereinstimmung gebracht werden konnte.

Indem die sämmtlichen bisherigen Messungen des Seitendrucks mit sehr grofsen Beobachtungsfehlern behaftet sind, die vorzügsweise von der unvermeidlichen Verschiedenheit in der Ablagerung herrühren, andrerseits aber die Reibung und Adhäsion an den festen Seitenwänden, die doch wesentlichen Einfluſs auf die Resultate haben, nicht ermittelt wurden, so schien es mir angemessen, nochmals Beobachtungen anzustellen, und zwar unter möglichst einfachen Verhältnissen, also in der Art dafs nicht nur die Einwirkung der Cohäsion und Adhäsion, sondern auch die der festeren Ablagerung oder des Sackens der Schüttung vermieden würde. Das erste war leicht, sobald reiner und trockner Sand oder Kies benutzt, aber auch die zweite Bedingung liefs sich erfüllen, sobald die Schüttung sehr sanft, also ohne irgend einen Stofs und ohne Erschütterung aufgebracht wurde. Hieraus ergab sich die Nothwendigkeit, die Versuche in sehr kleinem Maafsstabe auszuführen. Die daraus gezogenen Resultate darf man natürlich nicht unmittelbar auf höhere Schüttungen übertragen, bei denen der Seitendruck durch die unvermeidliche Compression des Bodens verstärkt wird, aber bei einer Erscheinung, die so complicirt ist, wie die in Rede stehende, ist es schon Gewinn, wenn eine Einzelheit derselben festgestellt wird. Hier kam es aber noch darauf an, die Uebereinstimmung der von mir gewählten Zerlegung der Kräfte mit den Resultaten sorgfältiger Beobachtungen nachzuweisen.

Ich hatte zu diesem Zweck bereits vor dreifsig Jahren einige Messungen ausgeführt*), die zwar unzweifelhaft die Richtigkeit der vorstehenden Entwickelung erwiesen, aber dennoch mit grofsen Beobachtungsfehlern versehn waren, die sich augenfällig zu erkennen gaben, sobald dieselbe Messung unter gleichen Umständen wiederholt wurde.

---

*) In den ersten Ausgaben dieses Handbuches sind dieselben mitgetheilt.

Die Reibung gegen die festen Seitenwände hatte ich früher dadurch beseitigt, dafs ich gar keinen geschlossenen Kasten benutzte, sondern ein Prisma von vierseitigem Querschnitt auf eine Ebene schüttete, dessen beide Seitenflächen flach geneigt waren. Die Herstellung dieser Form forderte indessen ein sorgfältiges Abstreichen, und dieses gab wieder Veranlassung zu grofsen Unregelmäfsigkeiten.

Der Druck gegen die bewegliche Wand ist wesentlich von der Art der Schüttung abhängig. Jenachdem die Körnchen einzeln oder in Masse, von gröfserer oder geringerer Höhe herabfallen, lagern sie sich lockerer oder fester ab, und üben im letzten Falle einen auffallend stärkeren Druck aus, der durch das keilförmige Ineinandertreiben veranlafst wird. Ich erwähne dabei, dafs Schüttungen, wobei einmal die Körnchen einzeln niedergefallen, sodann aber mittelst eines kleinen Bechers, und in beiden Fällen aus möglichst geringer Höhe aufgeschüttet waren, in ihrem specifischen Gewichte nur einen Unterschied von drei Procent erkennen liefsen, während die Pressungen gegen die bewegliche Wand sich schon wie 3 zu 4 und selbst wie 2 zu 3 verhielten. Es kam also darauf an, in allen Beobachtungen recht gleichmäfsige Schüttungen darzustellen, und dieses war nur möglich, wenn die Körnchen einzeln und aus geringer Höhe niederfielen, und jede fernere Bewegung oder Erschütterung vermieden wurde. Ein Abstreichen durfte aber nicht stattfinden, denn dieses veranlafste nach mehrfachen Wahrnehmungen, wenn es auch möglichst sanft geschah, schon jedesmal eine merkliche Zunahme des Seitendrucks. Die Oberflächen der Schüttungen mufsten sonach ungeebnet bleiben, um so nöthiger war es aber die Seitenwände beizubehalten, weil sonst die Unregelmäfsigkeit zu grofs geworden wäre.

Das Material, welches ich zu diesen Beobachtungen benutzte war ein sehr grober Sand, wie man solchen gemeinhin Kies zu nennen pflegt. Er war vom Strande der Ostsee in der Nähe von Hof zwischen Cammin und Treptow entnommen, woselbst die See ihn sehr rein auswirft. Um ihn jedoch möglichst gleichmäfsig zu gewinnen, waren durch Sieben sowol die gröberen, wie die feineren Körner entfernt. Die zurückgebliebenen hielten durchschnittlich 0,8 Linien im Durchmesser. Sie bestanden grofsentheils aus Quarz

und hatten meist die scharfen Ecken und Kanten verloren. In der losen Schüttung nahmen die leeren Zwischenräume etwas mehr, als den dritten Theil des ganzen Raumes ein und der Cubikzoll wog 1,944 alte Loth. Bei freier Schüttung nahm dieser Kies die stärkste Neigung von 54 Graden gegen das Loth an. Die steilste Böschung läfst sich indessen nur darstellen, wenn man wiederholentlich sehr kleine Massen aufbringt und Erschütterungen sorgfältig vermeidet, bei deren Eintritt jedesmal das Gleichgewicht gestört wird, und bedeutend flachere Böschungen sich darstellen. Bei solchem allmähligen Ausebnen der Oberfläche verschwinden aber in derselben, die Vertiefungen, welche in der Bruchebene der vollen Schüttung vorhanden sind, und sonach ist zu erwarten, dafs in der letztern die Reibung noch etwas gröfser, oder der Winkel ψ etwas kleiner sein wird, als nach der directen Messung.

Dafs eine solche Schüttung, wobei die einzelnen Körnchen unverändert dieselbe Lage beibehalten, die sie beim ersten Niederfallen angenommen hatten, eine merkliche Reibung an der beweglichen Seitenwand erfahren sollte, wodurch der Druck, den sie dagegen ausüben, vermindert werden könnte, ist nicht vorauszusetzen, wenn man darauf Rücksicht nimmt, dafs nur der erste Eintritt der Bewegung hier in Betracht kommt. Das Herabsinken des gelösten Prismas erfolgt nicht früher, als bis die Wand etwas zurückweicht, und Letzteres geschieht nur in Folge des horizontalen Druckes, auf den die später eintretende Reibung keinen Einfluſs hat. Bei dieser vorsichtigen Schüttung erfolgt aber auch vorher kein Sacken, wobei die Körnchen sich lothrecht gegen die Wand stützen und dadurch einen Theil ihres Gewichtes auf diese übertragen würden, sie lehnen sich vielmehr sämmtlich und zwar bis zu den untersten Schichten herab nur horizontal gegen die Wand. Unter diesen Verhältnissen ist die Reibung gegen die letztere nicht vorhanden.

Der Apparat, den ich benutzte, ist Fig. 3. *a* in der Ansicht von oben, *b* in der Seitenansicht und *c* im Querschnitt dargestellt. Die beweglich e Wand, gegen welche der Druck gemessen wurde, war nicht an eine horizontale Drehungs-Achse befestigt, sondern stand vielmehr auf einem leichten Wagen. Sie änderte also beim Zurückweichen nicht ihre Richtung, und es war sonach anzunehmen, dafs das Kies-Prisma, welches sich ablöst, beim Beginn der Be-

wegung im vollen Zusammenhange über die Bruchebene herabgleitet, während die Reibung gegen die Seitenwände an den Enden eine andre Bewegung bedingte.

Der Wagen ruhte auf zwei Achsen, die zwischen Stahlspitzen liefen, und auf welche die vier leichten Räder aufgekittet und in gleicher Gröfse abgedreht waren. Die Räder standen nicht auf besondern Bahnen, vielmehr auf einer sorgfältig abgehobelten Bohle, woher es leicht war, den Wagen jedesmal so zu stellen, dafs die Wand sich scharf an die beiden Seitenwände des Kastens anlehnte. Die Rollen, über welche ein Faden von cordonnirter Seide gezogen war, boten Gelegenheit das Gewicht zu bestimmen, welches nöthig war, um den Wagen nach einer und der andern Seite in Bewegung zu setzen, und die Bohle wurde so lange an dem einen Ende gehoben oder gesenkt, bis dasselbe Gewicht die Bewegung des Wagens in beiden Richtungen veranlafste. Dieses betrug 0,47 Loth. Ich hatte dasselbe aber ermittelt, indem ich an den Faden ein leichtes Gefäfs aus Papier hing, worin ich einen dünnen Strahl feinen gesiebten Sandes einfallen liefs, bis der Wagen sich in Bewegung setzte. Auf das Gewicht des Fadens durfte dabei nicht Rücksicht genommen werden, da der laufende Fufs desselben nur 0,004 Loth wog, während er 5 Pfund mit Sicherheit trug.

Bei der eigentlichen Beobachtung war der Faden, wie Fig. 3. *b* zeigt, über zwei leichte Rollen gezogen, welche an die Bohle, also nicht an den Wagen befestigt waren. Das angehängte Gewicht drückte den Wagen gegen den Kasten, worin die Schüttung sich befand. Zur Aufnahme der Gewichte diente zunächst eine Messing-Scheibe. An derselben hing ein leichter Trichter aus Papier, dessen Ausfluſs-Oeffnung 1,1 Linien im Durchmesser hielt und der mit 3 bis 4 Cubikzoll feinen gesiebten Sandes gefüllt wurde. Von letzterem flossen nach wiederholten Messungen in 2 Minuten 3,43 Loth, also in der Secunde nahe 0,03 Loth ab. Auf diese Weise nahm das Gewicht, welches die Wand gegen den Kasten drückte sehr langsam ab, und zwar geschah dieses so sanft, dafs während des Abfliefsens niemals die mindeste Erschütterung zu bemerken war.

Der für die Kiesschüttung bestimmte Kasten ruht auf zwei mit ihm fest verbundenen Leisten, die mittelst einer darüber gelegten dritten Leiste an die Bohle geschroben werden. Es findet daher eine sehr feste Aufstellung des Kastens statt, wobei zugleich

für die lothrechte Richtung der beiden Vorderkanten der Seitenwände gesorgt worden war. Zu erwähnen ist aber noch, dafs die bewegliche Wand neben ihrem obern Rande durch eine Stellschraube mit der schrägen Strebe verbunden ist, wie Fig. 3. b zeigt. Hierdurch liefs sich leicht der nöthige scharfe Schlufs zwischen dieser Wand und den beiden Seitenwänden, wie auch gegen den Boden des Kastens darstellen.

In dem Kasten konnten verschiedene Aenderungen der Dimensionen leicht eingeführt werden. Durch die in punktirten Linien Fig. 3 *c* angedeuteten vier vertikalen Zwischenwände liefs sich seine Länge, oder die Breite der Oeffnung von 9,33 auf 6,67 und 4,12 Zoll vermindern. Aufser dem verminderte ein Zwischenboden seine Höhe von 4,66 auf 3,50 Zoll, und auch bei dieser geringeren Höhe konnte durch andre, niedrigere Wände die Breite in gleicher Weise, wie bei der vollen Höhe, vermindert werden.

Ueber die Ausführung der Beobachtungen ist wenig zu bemerken. Der Wagen wird scharf gegen den Kasten geschoben, bevor der letztere gefüllt ist, und die Schraube an der hintern Seite des Wagens hält denselben während der Füllung in dieser Stellung. Alsdann bringt man die Gewichtstücke auf, die aber nicht dem Drucke entsprechen dürfen, der die Wand zurückschiebt, vielmehr etwas geringer bleiben müssen. Endlich wird der Trichter mit feinem Sande gefüllt und nunmehr dreht man jene Schraube soweit zurück, dafs sich ein Zwischenraum von 1,5 Linien bildet, der eine geringe Bewegung des Wagens zuläfst. Aus dem Trichter fliefst ein feiner Sandstrahl in ein darunter gestelltes Gefäfs, auf diesem liegt aber ein Rahmen, der die Bahn für einen kleinen darauf stehenden Kasten bildet. An diesem Kasten ist ein Faden befestigt und durch eine Oeffnung im Rahmen gezogen, so dafs beim Anziehn des Fadens der Kasten sich unter den Trichter stellt. Sobald der Wagen zurückweicht, zieht man den Faden an und sonach wird derjenige Sand aufgefangen, der noch im Trichter war, als der Gegendruck dem Drucke des Kieses nicht mehr das Gleichgewicht hielt. Dieser Gegendruck setzt sich aber zusammen aus dem Gewichte der Scheibe nebst den darauf gestellten Gewicht-Stücken, so wie aus dem Gewichte des Trichters und dem im kleinen Kasten aufgefangenen Sande.

Die Bewegung des Wagens erfolgte indessen keineswegs plötz-

lich, ich war vielmehr jedesmal während einiger wenigen Secunden zweifelhaft, ob ich den Kasten vorschieben sollte, während der Wagen fast unmerkbar zurückwich, bis er bei zunehmender Geschwindigkeit gegen die Schraube stiefs. Nach verschiedenen Wahrnehmungen und Betrachtungen über die mechanischen Verhältnisse kam ich zu dem Resultat, dafs der Wagen 6 Secunden braucht, bevor er nach dem Beginne seiner Bewegung den Weg von 1,5 Linien zurückgelegt hat. Die in dieser Zeit ausfliefsende Sandmenge wurde daher eben so wie die Reibung des Wagens dem beobachteten Gewichte zugesetzt. Dieser Zusatz ist freilich sehr unsicher, doch erreicht die Unsicherheit und selbst die ganze betreffende Correction noch nicht die Gröfse der unvermeidlichen Beobachtungsfehler.

Zur Aufnahme des beim Ausweichen der Wand ausfliefsenden Kieses ist unter dieselbe ein Kasten geschoben. Bei dem sehr kleinen Spielraum pflegte nur wenig Kies hindurchzufallen, indem die Körnchen sich bald gegenseitig an einander stemmten und die Oeffnung schlossen. Vor jedem neuen Versuche mufste der Kasten so weit geleert werden, dafs die steile Dossirung daraus beseitigt werden, und die neue Bruchebene sich in frischer Schüttung bilden konnte.

Endlich bleibt noch übrig das Verfahren zur Darstellung möglichst lockerer Schüttungen zu beschreiben. Ich bediente mich dazu eines conischen Trichters aus Papier, dessen untere Oeffnung $2\frac{1}{2}$ Linien im Durchmesser hielt. Der austretende ziemlich feine Strahl des Kieses stürzte aber nicht frei herab, sondern traf auf eine Scheibe von 7 Linien Durchmesser, die 4 Linien unter dem Trichter mit diesem durch feine Drähte verbunden war, wie Fig. 3 *d* zeigt. Beim Auffallen auf diese Scheibe löste sich der Strahl in die einzelnen Körnchen auf, die nach allen Seiten sich gleichmäfsig vertheilten, und da der Trichter stets möglichst nahe über der Schüttung, nämlich so gehalten wurde, dafs die Scheibe etwa 6 Linien über der letzteren schwebte, so fielen die Körnchen auch so sanft herab, dafs sie den bereits abgelagerten Kies nicht mehr in Bewegung setzen konnten. Dabei wurde noch die Vorsicht beachtet, dafs die Schüttung immer nahe horizontal blieb. Dieses war insofern nöthig, als einzelne Unebenheiten selbst von mäfsiger Ausdehnung leicht steilere Dossirungen darstellen konnten, von denen Abstürzungen erfolgten, welche die bereits abgelagerte Masse erschütterten. Ich mufs dabei noch erwähnen, dafs wenn zufälliger Weise beim

Füllen des Trichters die erwähnte Scheibe die Schüttung kaum berührte, dieses sogleich, und besonders wenn es in der Nähe der beweglichen Wand geschah, eine merkliche Verstärkung des Seitendruckes zur Folge hatte. In allen solchen Fällen mufste daher die Schüttung beseitigt und aufs Neue ausgeführt werden.

In dieser Weise wurde der Kasten jedesmal bis nahe an seinen obern Rand gefüllt, die letzte dünne Schicht von wenig Linien Dicke konnte aber nicht mit dem Trichter dargestellt werden. Um diese möglichst regelmäfsig aufzubringen, wurde ein Lineal über den Kasten gelegt und nach und nach über dessen ganze Breite verschoben, indem ich die hohlen Räume mittels eines leichten Löffels anfüllte, den ich unmittelbar darüber hielt. Die alsdann noch bleibenden Unregelmäfsigkeiten von etwa 1 Linie liefsen sich nicht beseitigen, ihr Einfluſs auf das Resultat war aber vergleichungsweise gegen die andern Beobachtungsfehler verschwindend klein.

Ich habe im Vorstehenden die Art der Messung so ausführlich beschrieben, um zu zeigen, welche grofse Vorsicht dabei nothwendig ist, wenn man übereinstimmende Resultate erhalten will. Jede Beobachtung wurde dreimal wiederholt und es gelang mir in der That, den wahrscheinlichen Fehler der Messung des Seitendruckes auf 4 Procent zu reduciren, also eine Genauigkeit zu erreichen, welche die der früheren ähnlichen Messungen weit übertrifft.

Die vollständige Mittheilung der Beobachtungen und der daraus hergeleiteten Resultate sowol in Bezug auf den Druck gegen die bewegliche Wand, wie auch auf die Reibung gegen die festen Seitenwände übergehe ich hier*), und bemerke nur, dafs die Messung des Druckes bei gleichen Höhen und bei den drei verschiedenen Breiten der Schüttung Gelegenheit bot, den Einfluſs der Seitenwände zu beseitigen. Ich setze nämlich

$$H = b \,.\, r - s$$

die Unbekannte r bezeichnet den gesuchten Druck der Schüttung auf die Einheit der Breite der Wand. Nach obiger Herleitung ist aber

$$r = \frac{1}{2} h^2 \gamma A$$

Die Beobachtungen beziehn sich auf zwei verschiedene Werthe von h,

*) Dieselben sind speciell mitgetheilt in dem Aufsatze „über den Seitendruck der Erde“ in den Abhandlungen der Berliner Academie der Wissenschaften. 1871.

und für jeden derselben waren drei Messungen bei verschiedenen b angestellt. Es lagen also sechs Messungen zum Grunde, die zur Bestimmung des wahrscheinlichsten Werthes von A benutzt wurden. Denselben fand ich

$$A = 0{,}1572$$

Hieraus ergiebt sich nach obiger Tabelle

$$\psi = 53^0\ 5'$$

und $$\varphi = 36^0\ 48'$$

Es ist schon erwähnt, dafs nach der directen Messung

$$\psi = 54^0$$

gefunden war. Ich mufs noch erwähnen, dafs ich auch den Winkel φ direct zu messen versuchte. Wenn man nämlich die bewegliche Wand plötzlich ein wenig zurückschiebt, so läfst sich durch die eintretende Senkung der Oberfläche des gelösten Prismas, wenn auch nicht mit grofser Schärfe, doch immer ungefähr erkennen, an welcher Stelle die Bruchebene die Oberfläche der Schüttung trifft. Hieraus ergab sich

$$\varphi = 38^0$$

also wieder ungefähr übereinstimmend mit dem vorstehenden Rechnungsresultate. Nach Coulomb's Auffassung würden dagegen unter Zugrundelegung obigen Werthes von r die Winkel

$$\psi = 42^0\ 15'$$

und $$\varphi = 21^0\ 37',5$$

sein. Der erste ist um $11^0\ 45'$ und der zweite sogar um $16^0\ 22{,}5$ kleiner, als nach der directen Messung.

Die Beobachtungen bestätigen also gleichfalls, dafs die bisher übliche Regel zur Bestimmung des Seitendrucks der Erde nicht richtig ist, dafs dagegen die vorstehend mitgetheilte Herleitung zu Resultaten führt, die sich an die Erfahrung so genau anschliefsen, wie die Schärfe der Messung es überhaupt erwarten läfst.

Es mag noch untersucht werden, wie der Erddruck in einigen andern Fällen sich gestaltet, die vielfach in der Technik sich wiederholen. Lehnt sich gegen die vertikale Wand nicht eine horizontal abgeglichene Erdmasse, sondern eine solche, die von der Wand ab mit einer gewissen Neigung $= \beta$ gegen den Horizont ansteigt, so ist der Querschnitt des drückenden Prismas unter Beibehaltung der früheren Bezeichnungen

$$\frac{1}{2} h^2 \frac{Cos\beta \,.\, Sin\varphi}{Cos(\varphi+\beta)}$$

folglich sein Gewicht

$$\frac{1}{2} b h^2 \gamma \frac{Cos\beta \,.\, Sin\varphi}{Cos(\varphi+\beta)}$$

Hieraus ergiebt sich die Kraft, mit der es unter Berücksichtigung der Reibung in der Bruchebene herabzugleiten strebt

$$= \frac{1}{2} b h^2 \gamma \frac{Cos\beta \,.\, Sin\varphi \,.\, Sin(\psi-\varphi)}{Cos(\varphi+\beta) \,.\, Sin\psi}$$

und folglich der Druck gegen die vertikale Wand

$$H = \frac{1}{2} b h^2 \gamma \frac{Cos\beta \,.\, Sin\varphi^2 \,.\, Sin(\psi-\varphi)}{Cos(\varphi+\beta) \,.\, Sin\psi}$$

$$= \frac{1}{2} b h^2 \gamma \,.\, B$$

Unter allen Prismen, von denen jedes sich unter einem andern Winkel φ ablöst, kommt aber nur dasjenige in Betracht, wobei H, also auch B ein Maximum wird. In dem Ausdruck für H ist aber nicht nur ψ sondern auch β constant, da die Böschung, unter der die Erdschüttung ansteigt, gegeben ist, und man mufs also das Differenzial von

$$\frac{Sin\varphi^2 \,.\, Sin(\psi-\varphi)}{Cos(\varphi+\beta)}$$

in Bezug auf φ suchen und gleich Null setzen. Daraus ergiebt sich die Bedingungsgleichung

$$o = 2\,Cotg\,\varphi - Cotg(\psi-\varphi) + tgt(\varphi+\beta)$$

Man könnte die beiden letzten Glieder noch auflösen und dadurch eine Gleichung des dritten Grades in Bezug auf $tgt\,\varphi$ darstellen, doch wird die Rechnung hierdurch noch complicirter und man findet leichter den gesuchten Winkel φ, wenn man die bekannten Werthe für ψ und β einführt, und durch willkürliche Annahme von φ diejenige Gröfse desselben bestimmt, wodurch der Bedingung Genüge geschieht. Durch drei oder vier Proben läfst sich auf diese Weise φ bis auf 1 Minute genau bestimmen.

Ich habe auch auf diesen Fall meine Beobachtungen ausgedehnt, indem ich den Kasten mit einer höheren Rückwand, und mit Seitenwänden versah, die von der beweglichen Wand ab unter dem Winkel von 25° gegen den Horizont anstiegen. Dabei wurde der Apparat wieder so verändert, dafs die Messungen sich auf zwei verschiedene Höhen und je drei verschiedene Breiten bezogen, wodurch ich sechs

Gruppen von Beobachtungen erhielt. Die einzelnen Messungen zeigten unter sich jedoch viel weniger Uebereinstimmung, als bei der horizontalen Schüttung. Der Grund dafür ist ohne Zweifel darin zu suchen, dafs bei dieser starken Böschung ein Herabfallen kleinerer Sandmassen sich nicht vermeiden liefs, wodurch der Druck gegen die bewegliche Wand sich verstärkte.

Indem ich auch hier aus den Messungen den Reibungswinkel ψ herleiten wollte, so berechnete ich zunächst für verschiedene Werthe von ψ die zugehörigen φ und B, indem $\beta = +25^0$ war. Ich fand

ψ	φ	Diff.	B	Diff.
50^0	$37^0\ 32',6$	$58',9$	0,2055	0,0137
51^0	$38^0\ 31',5$	$60',4$	0,2192	0,0147
52^0	$39^0\ 31',9$	$62',3$	0,2339	0,0159
53^0	$40^0\ 34',2$	$64',4$	0,2498	0,0172
54^0	$41^0\ 38',6$	$66',8$	0,2670	0,0187
55^0	$42^0\ 45',4$	$69',5$	0,2857	0,0204
56^0	$43^0\ 54',9$		0,3061	

Die Beobachtungen ergaben als wahrscheinlichsten Werth

$$B = 0{,}2315$$

und hieraus nach vorstehender Tabelle

$$\psi = 51^0\ 50'$$

Ich versuchte ferner noch den Druck zu messen, den die Wand von einer Schüttung erleidet, die unter dem Winkel von 25^0 rückwärts abfällt, so dafs

$$\beta = -25^0$$

Dabei war jedoch wegen des beengten Raumes die Darstellung der Schüttung noch schwieriger, und die einzelnen Beobachtungen stimmten noch weniger unter einander überein. Ich maafs daher nur den Druck auf die volle Höhe und Breite der Wand. Der mittlere Werth desselben war 21,54 Loth. Nach der vorstehenden angegebenen Rechnung sollte er aber, wenn $\psi = 53^0\ 5'$ und wenn die Seitenreibung in der Art berücksichtigt wird, wie sie sich nach den früheren Messungen herausstellt, nur gleich 19,88 Loth sein. Es ergab sich also eine Abweichung von 8 Procent, die sich durch die Unvollkommenheit der Schüttung leicht erklärt.

Nicht selten werden Wände, besonders hölzerne Bohlwerke oder Pfahlreihen, die an sich schon die Wand bilden, rückwärts

gegen die Schüttungen geneigt, um den Druck der letzteren zu mäfsigen. Es ist wichtig zu untersuchen, in welchem Maafse die Wände dadurch entlastet werden.

Ist die Wand unter dem Winkel α und zwar rückwärts nach der Schüttung hin gegen das Loth geneigt, so ist das Gewicht des sich trennenden Prismas

$$\frac{1}{2} b h^2 \gamma \frac{Sin(\varphi - \alpha)}{Cos\,\varphi \,.\, Cos\,\alpha}$$

Der Druck den dasselbe parallel zur Bruchebne ausübt, ergiebt sich unter Berücksichtigung der Reibung

$$\frac{1}{2} b h^2 \gamma \frac{Sin(\varphi - \alpha) \,.\, Sin(\psi - \varphi)}{Cos\,\varphi \,.\, Cos\,\alpha \,.\, Sin\,\psi}$$

und folglich der Normal-Druck gegen die Wand

$$H = \frac{1}{2} b h^2 \gamma \frac{Sin(\varphi - \alpha)^2 \,.\, Sin(\psi - \varphi)}{Cos\,\varphi \,.\, Cos\,\alpha \,.\, Sin\,\psi}$$

$$= \frac{1}{2} b h^2 \gamma \,.\, C$$

Das Maximum des Werthes von C erhält man, wenn ψ und α gegeben sind, sobald

$$o = 2\,tgt\,\psi \,.\, Cos\,\varphi^2 - Sin\,2\,\varphi - tgt(\varphi - \alpha)$$

Indem ich $\psi = 53^0$ annehme, was nach vielfachen Erfahrungen auch für Steinschüttungen sowohl über, wie unter Wasser gilt, so finden sich für die verschiedenen Werthe von α die nachstehenden C. Das Verhältnifs derselben zu denjenigen Pressungen, welche die Wand bei gleicher Höhe der Schüttung in senkrechter Stellung erleiden würde, ist noch unter der Bezeichnung $\frac{C}{A}$ in der letzten Spalte hinzugefügt.

α	φ	Diff.	C	Diff.	$\frac{C}{A}$
0^0	$36^0\ 44'$	98′	0,15655	0,03404	1,00000
5^0	$38^0\ 22'$	94′	0,12251	0,02917	0,78253
10^0	$39^0\ 56'$	92′	0,09334	0,02464	0,59620
15^0	$41^0\ 28'$	90′	0,06870	0,02040	0,43882
20^0	$42^0\ 58'$	89′	0,04830	0,01640	0,30852
25^0	$44^0\ 27'$	88′	0,03190	0,01263	0,20378
30^0	$45^0\ 55'$	89′	0,01927	0,00911	0,12311
35^0	$47^0\ 24'$	90′	0,01016	0,00590	0,06491
40^0	$48^0\ 54'$	92′	0,00426	0,00314	0,02718
45^0	$50^0\ 26'$	95′	0,00112	0,00105	0,00713
50^0	$52^0\ 1'$		0,00007		0,00043

Gewöhnlich bezeichnet man die Neigung einer Wand durch das Verhältnifs der Ausladung zur Höhe, es mögen daher für einige übliche Böschungen noch die Werthe mitgetheilt werden:

Böschung	α	φ	C	$\frac{C}{A}$
1 : 12	4° 46′	38° 17′	0,1240	0,7921
1 : 9	6° 20′	38° 47′	0,1142	0,7296
1 : 6	9° 28′	39° 46′	0,0962	0,6148
1 : 4	14° 2′	41° 10′	0,0731	0,4670
1 : 3	18° 26′	42° 30′	0,0542	0,3469

Wenn man also die Wand auch nur um den zwölften Theil ihrer Höhe gegen die Schüttung neigt, so vermindert der Druck der letzteren sich schon um den fünften Theil. Bei der Neigung von 1 : 4 ist derselbe noch nicht halb so stark, wie er gegen die senkrechte Wand sein würde, und er beschränkt sich auf den dritten Theil, wenn die Neigung 1 : 3 ist. Die Stabilität der Wände läfst sich also auf diese Weise wesentlich verstärken, und dabei tritt zugleich der günstige Umstand ein, dafs die Schüttung, sobald sie sackt, nicht gegen die Wand gepreſst wird, sondern ohne auf die letztere einen Druck auszuüben herabsinkt.

Schliefslich mag noch der Druck untersucht werden, den eine sehr schmale Schüttung gegen die Wand ausübt, in welchem Falle also die feste Rückwand sich nahe an der beweglichen befindet. Das Prisma, das beim Ausweichen der letzteren sich löst, und den Druck ausübt, hat wegen seiner geringen Breite nur ein geringes Gewicht, und man sollte hieraus schliefsen, dafs der Druck in gleichem Maafse sich vermindern müfste. Dieses ist indessen nicht der Fall, wie die Erfahrung auch vielfach und namentlich an den sogenannten Füllmauern gezeigt hat. Als ich in meinem Apparate die feste Rückwand der beweglichen bis auf 2,24 Zoll näherte, wobei das Gewicht des drückenden Prismas sich um den achten Theil verminderte, ergab sich der Druck noch eben so grofs, als wenn die Rückwand weiter entfernt gewesen wäre, nämlich 28,27 Loth.

Hierauf näherte ich die Rückenwand der vorderen bis auf 0,754 Zoll, wobei das Gewicht des drückenden Prismas nur 0,4 des früheren Gewichtes war, und wo dasselbe bei der günstigsten Annahme von φ, nämlich $\varphi = 28^0\ 51'$, doch nur den Horizontal-Druck 13,50 Loth ausüben konnte, war derselbe wirklich 25,19 Loth,

also noch nahe eben so grofs, als wenn die Schüttung sich soweit ausgedehnt hätte, dafs das volle dreiseitige Prisma sich bilden konnte.

Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, dafs beim Ausweichen der Wand AC nach Fig. 4 die Bewegung der Masse sich keineswegs auf das Vorrücken des vierseitigen Prismas $ABCD$ beschränkt. Wäre dieses der Fall, so würde sich neben der Rückwand BD ein leerer Raum bilden. Solcher wird aber sogleich angefüllt, indem der obere Theil der Masse zurückweicht. Das Prisma $ABCD$ drückt gegen die bewegliche Wand AC, gleichzeitig drückt aber auch das Prisma $ABDE$ gegen die Rückwand BD, und da letztere nicht ausweichen kann, so überträgt sich dieser Druck durch die Schüttung hindurch auf die vordere Wand. Sollte die zweite Bruchebene noch nicht die Oberfläche AB treffen, so bildet sich ein dritter Bruch und so fort. Bei jeder einzelnen dieser Bewegungen sinkt aber das betreffende Prisma gegen die darunter liegende Masse so tief herab, als wenn die übrigen Bewegungen nicht statt fänden, woher der jedesmalige partielle Druck von den letzteren ganz unabhängig ist. Die Oberfläche AB senkt sich daher bei gleichem Ausweichen der Wand viel tiefer, als wenn das dreiseitige Prisma sich gebildet hätte. Man bemerkt aber, dafs diese verschiedenen Bewegungen in dem engen Raume sehr nahe mit denen beim Herabgleiten eines Prismas übereinstimmen, welches sich vollständig ausbilden kann. Die Pressung gegen die bewegliche Wand ist daher in beiden Fällen auch nahe dieselbe und der Unterschied beruht vielleicht nur in der dabei eintretenden Reibung gegen die bewegliche Wand und die Rückwand.

Schliefslich mufs nochmals auf die obige Bemerkung zurückgewiesen werden, dafs die Resultate der vorstehenden Rechnungen auf Ausführungen im Grofsen nicht unmittelbare Anwendung finden, insofern eben sowol durch das künstliche Feststampfen der Erde, wie auch durch deren späteres Versacken der Seitendruck wesentlich verstärkt wird. Nichts desto weniger wird man in einzelnen besondern Fällen doch diese Resultate benutzen dürfen, wie etwa wenn die Hinterfüllung aus gröfseren Steinen besteht, wobei Cohäsion nicht statt findet, und überdiefs das Abrammen ohne Wirkung ist. Schon bei Gelegenheit der Hafendämme*) habe ich gezeigt, wie die Stabilität der Pfahl-

*) Im dritten Theile dieses Handbuches § 57.

wände durch deren Neigung gegen das Loth vergröfsert wird. Ich bin dabei jedoch zu andern Resultaten gekommen, als vorstehend mitgetheilt sind, indem ich theils dem Reibungswinkel ψ einen geringeren Werth gab, vorzugsweise aber, weil ich den Horizontaldruck des abgleitenden Prismas berechnete, und nicht denjenigen, der normal gegen die Wand wirkt. Letzterer ist aber hierbei in Betracht zu ziehn, weil er in das Moment des Druckes unmittelbar als Factor eintritt.

§. 2.

Festigkeit der Mauern.

Wenn eine Mauer in allen Theilen gleiche Festigkeit besäfse, so dafs nicht nur die Steine, sondern auch der Mörtel, der sich mit diesen innig verbunden hat, denselben Widerstand jedem Bruche und jeder Trennung entgegensetzen, so würde eine solche Masse unter einem starken Drucke in ähnlicher Weise, wie eine Erdschüttung brechen. Der Unterschied zwischen beiden Fällen würde vorzugsweise auf der stärkern Cohäsion der Mauer beruhen. Es müfste sonach auch in der Mauer die Bruchfläche sich wieder in derjenigen Höhe und unter derjenigen Neigung gegen den Horizont bilden, wobei mit Rücksicht auf Reibung und Cohäsion der schräge abwärts gerichtete Druck des abgebrochenen Prismas ein Maximum wird. Die Erfahrung bestätiget dieses auch soweit, als die Sicherheit der Beobachtungen hierüber ein Urtheil gestattet, und zwar ebensowohl bei den Versuchen, die im Kleinen über das Zerdrücken der Steine angestellt sind, wie auch bei dem Erscheinen von Rissen in gröfseren Mauermassen. In beiden Fällen bilden sich die schräge gegen den Druck gerichteten Bruchflächen, und übereinstimmend mit dem Verhalten der Erde und des Sandes schiebt sich das abgebrochene Steinprisma über die schräge Oberfläche des noch stehenden Theiles fort.

Das Mauerwerk besteht indessen, einige sehr seltene Fälle ausgenommen, nicht aus einem einzelnen Steine, sondern es ist fast immer aus einer grofsen Menge von Bausteinen zusammengesetzt,

die neben und übereinander gelegt und durch Mörtel verbunden sind. Die Festigkeit des Mörtels ist aber gewöhnlich geringer, als die der Steine, auch ist er mit diesen nicht innig verbunden. So geschieht es, dafs bei zunehmendem Drucke die Bruchfläche, welche sich endlich bildet, nicht überall neu entstehn darf, sondern schon eine Menge von Fugen antrifft, die in ihrer Richtung liegen, und ihre Darstellung erleichtern. Eine Fuge, die normal gegen den Druck gerichtet ist, kommt aber der Bildung der Bruchfläche nur insofern zu Hülfe, als die Kanten der Steine wegen der unvermeidlichen Ungleichmäfsigkeit in der Unterstützung leichter abbrechen, daher sind diese Fugen am wenigsten schädlich. In weit höherem Grade sind es diejenigen, welche parallel zur Richtung des Druckes liegen. Den letzteren folgt daher die Bruchfläche, und wenn in der erwähnten Richtung Fuge auf Fuge trifft, so spaltet die Mauer. Solche Spalten sind sehr nachtheilig, und zwar in dreifacher Beziehung. Zunächst wird die rückwirkende Festigkeit, wenn man auch nur eine sehr geringe Elasticität annimmt, in hohem Grade dadurch vermindert, dafs sie der dritten Potenz der Breite des Prismas proportional ist. Spaltet sonach eine Mauer in ihrer Mitte und zwar nach der Längenrichtung und vertikal, so ist die rückwirkende Festigkeit von jeder Hälfte nur dem achten Theile der früheren gleich, oder sie ist im Ganzen auf den vierten Theil reducirt. Zweitens ist die Stabilität dem Quadrate der Breite proportional, dieselbe vermindert sich also in diesem Falle auf die Hälfte. Endlich giebt diese Längenspalte Veranlassung, dafs die Bruchflächen sich mit Leichtigkeit durch die schwächsten Stellen, die zufällig auf der einen und der andern Seite liegen, hindurch ziehn, und sonach zu ihrer vollständigen Bildung nur eine geringe äufsere Kraft erforderlich ist. Der letzte Grund dürfte in den meisten Fällen der wichtigste sein. Es war bisher nur von den Fugen die Rede, die normal gegen den Druck, oder parallel zu demselben gerichtet sind, sie können indessen auch schräge liegen, und sind alsdann besonders schädlich und zwar um so mehr, je näher sie mit der Neigung derjenigen Bruchfläche zusammenfallen, welche mit Rücksicht auf die Reibung dem Herabgleiten des abgebrochenen Theiles am günstigsten ist.

Im Mauerwerk wird vorzugsweise nur die rückwirkende Festigkeit, oder diejenige, welche dem Zerdrücken widersteht, in

Anspruch genommen. Die relative Festigkeit, welche das Abbrechen verhindert, kommt nur selten in Betracht, doch ist auf einen Fall dieser Art bei Gelegenheit der Béton-Fundirungen bereits hingewiesen worden, wenn nämlich das unter dem Bette abgeschlossene Wasser einen starken aufwärts gerichteten Druck ausübt*). Die relative Festigkeit ergiebt sich, wie bekannt, aus der absoluten, oder derjenigen, die dem Zerreifsen widersteht. Indem man jeden Theil eines Mauerwerks hinreichend zu unterstützen bemüht ist, oder Anker und Hänge-Eisen anwendet, wo dieses nicht möglich ist, so wird die absolute Festigkeit an sich bei Mauern wohl niemals in Anspruch genommen.

Um in dem fertigen Bau das volle Gleichgewicht darzustellen, ohne durch unnöthige Verwendung von Material die Baukosten zu vergröfsern, mufs man die Kräfte kennen, die auf jeden Theil einwirken, und dieser mufs mit Rücksicht auf die Festigkeit der Bausteine die erforderlichen Abmessungen erhalten, so dafs er jenen Kräften den nöthigen Widerstand leistet. Den Spaltungen in der Richtung der Mittelkraft begegnet man durch den richtigen Verband der Steine. In den einzelnen Schichten lassen sich die Stofsfugen in dieser Richtung nicht vermeiden, sie müssen aber dadurch unschädlich gemacht werden, dafs sie in den anschliefsenden Schichten auf volle Steine treffen. Um ferner nur die rückwirkende Festigkeit wirken zu lassen, müssen die Schichten normal gegen die Mittelkraft gerichtet sein, und damit letztere die Festigkeit der ganzen Schicht gleichmäfsig in Anspruch nimmt, mufs sie jedesmal den Schwerpunkt der Oberfläche der Schicht treffen. Die Gröfse dieser Oberfläche ist aber so zu bestimmen, dafs die rückwirkende Festigkeit der Steine in ihr dem Druck entspricht.

Die vorstehenden Bedingungen sind leicht zu erfüllen, so lange die Kräfte nur lothrecht wirken, also die Schichten horizontal liegen, dagegen wird die Lösung der Aufgabe schwieriger, wenn schräge oder horizontal gerichtete Pressungen hinzukommen, wie dieses bei gewölbten Bogen oder bei Mauern geschieht, die dem Drucke der Hinterfüllungs-Erde ausgesetzt sind. Wenn man indessen alle Kräfte kennt, welche auf jeden Theil der Mauer einwirken, so kann man

---

*) Theil I. § 48.

immer entweder direct, oder durch Näherungs-Methoden die erforderliche Gröfse und Neigung der Schicht berechnen*).

Bei dieser Auffafsung wird auf den Zusammenhang der Mauer in sich gar nicht Rücksicht genommen, jeder Theil derselben befindet sich im Gleichgewichte und wird nur dadurch in seiner Lage erhalten, dafs die rückwirkende Festigkeit der Schichten, die ihn tragen, den gesammten Kräften entspricht, die auf ihn wirken. Es darf aber nicht befremden, dafs die Formen und Stärken der Mauern, welche dieser Bedingung entsprechen, wesentlich verschieden sind von denjenigen, zu welchen man gelangt, wenn man den Zusammenhang der Mauermassen durch den Mörtel berücksichtigt. Obwohl letzterer sich wohl jedesmal mehr oder weniger wirksam erweist, so bieten dennoch diejenigen Constructionen gröfsere Sicherheit, wobei jeder Theil, der sich zufällig trennt, wie etwa ein schmales Segment einer Kuppel, für sich im Gleichgewicht ist. Wenn auch bei sorgfältiger Ausführung die Stabilität durch die Cohäsion des Mörtels wesentlich vergröfsert wird, so zeigen doch die Risse, die man in ältern, wie in neuen Bauwerken so vielfach wahrnimmt, dafs man von dieser Cohäsion die Standfähigkeit eines wichtigen Bauwerks nicht abhängig machen darf.

Aus vorstehenden Bemerkungen lassen sich unmittelbar die Hauptregeln für die Ausführung des Mauerwerks herleiten. Um die Fugen so anzuordnen, dafs sie einen Bruch am wenigsten begünstigen, wird die Mauer schichtenweise ausgeführt. Die Stärke der Schichten entspricht der Dicke der Bausteine, und jede einzelne Schicht wird regelmäfsig in einer Ebene abgeglichen. Ist die Mauer wie gewöhnlich keinem Seitendrucke ausgesetzt, so findet nur ein Vertikaldruck statt, und die Fugen zwischen den einzelnen Schichten, oder die Lagerfugen, bilden Horizontal-Ebenen. Wenn dagegen ein Horizontaldruck eintritt, so mufs man, wie bereits erwähnt, die Lagerfugen so anordnen, dafs sie von dem aus den verschiedenen Kräften zusammengesetzten Druck normal ge-

*) Für gewölbte Bogen mit und ohne Belastung, so wie auch für Kuppeln habe ich diese Aufgabe zu lösen versucht. „Ueber Form und Stärke gewölbter Bogen“ in den Abhandlungen der Berliner Academie der Wissenschaften 1844, mit manchen Zusätzen besonders abgedruckt, Berlin 1862. — „Ueber Form und Stärke gewölbter Kuppeln“ in der Zeitschrift des Hannoverschen Ingenieur- und Architecten Vereins. Band V, 1859.

troffen werden. Auf Abweichungen von einigen Graden kommt es hierbei nicht an, da jener schräge Bruch, von dem oben die Rede war und der unter starker Belastung sich bildet, stets unter einem ziemlich spitzen Winkel gegen den Druck eintritt, und daher von der Richtung der Lagerfugen oder der Mauerschichten wesentlich abweicht. Bei Gewölben pflegt man ziemlich allgemein die angegebene Regel zu befolgen, und eine Ausnahme davon findet nur in sofern statt, als man die Richtung des zusammengesetzten Druckes nicht immer gehörig berücksichtigt, oder man das Verhauen der Backsteine vermeiden will. Bei andern Mauermassen, die einem starken Horizontaldruck ausgesetzt sind, wie bei Widerlager der Gewölbe und bei Futtermauern, pflegt man gewöhnlich die Lagerfugen im Widerspruch mit der angeführten Regel horizontal anzuordnen. In England geschieht dieses in neuerer Zeit jedoch nicht mehr, wie bereits bei Gelegenheit der Fundirungen erwähnt worden*). Der Grund, weshalb man die horizontalen Schichten in diesen Fällen bei uns noch beibehält, ist aber darin zu suchen, dafs die Arbeit des Mauerns beim unmittelbaren Gebrauch der Setzwage etwas bequemer ist, als wenn die Lagerfugen nach einer Seite unter einem gewissen Winkel geneigt sein sollen, der überdies für die verschiedenen Lagerfugen sich nicht gleich bleibt. Dieses Verfahren rechtfertigt sich auch, so lange der zusammengesetzte Druck nicht bedeutend von der Richtung des Lothes abweicht, sobald der Unterschied zwischen beiden aber etwa 15 Grade beträgt, und es überhaupt Absicht ist, mit dem geringsten Materialbedarf oder mit den geringsten Kosten die erforderliche Solidität zu erreichen, so begründen die erwähnten Rücksichten nicht mehr eine solche Abweichung von der allgemeinen Regel. Endlich vermeidet man die schräge Richtung der Lagerfugen zuweilen auch aus dem Grunde, weil alsdann das Wasser sich mit gröfserer Leichtigkeit hineinziehn und den Mörtel verderben könnte. Diese Rücksicht kommt indessen nur für das Regenwasser in Betracht, keineswegs aber für das Wasser, welches vor der Mauer steht, oder wie in den Schleusenkammern abwechselnd davor tritt. In diesen beiden Fällen wird es nämlich durch den hydrostatischen Druck eben so gut in die schräge, wie in die horizontale Fuge hineingedrängt.

---

*) Theil I. § 34. und Fig. 143 auf Taf. XI.

In den einzelnen Schichten müssen die Bausteine gut schliefsend an einander gesetzt werden, damit die tragende Fläche, die durch ihre rückwirkende Festigkeit dem Drucke widerstehn soll, möglichst grofs wird. Auf den Mörtel ist hierbei aber nicht Rücksicht zu nehmen, da derselbe eine geringere Festigkeit, als die Bausteine zu haben pflegt.

Die Steine müssen ferner nicht nur oben und unten parallele Flächen haben, oder lagerhaft sein, sondern soviel es geschehn kann, müssen ihre Seitenflächen, womit sie sich berühren, gegen die Lagerfugen senkrecht stehn, im entgegengesetzten Falle würde die Bildung einer Bruchfläche durch vielfache schräge Fugen erleichtert. Wenn man rohe Bausteine benutzt, so läfst sich die letzte Regel nicht mehr in aller Schärfe beachten, und man ist daher gezwungen, durch gröfsere Stärke der Mauer, den Mangel zu ersetzen. Bei sorgfältiger Bearbeitung der Bausteine ist indessen diese Verstärkung nicht nöthig, und es kommt darauf an, durch Vergleichung der Kosten des Materials, gegen das Arbeitslohn, denjenigen Grad der Schärfe der Bearbeitung der Steine zu ermitteln, wobei die Gesammtkosten ein Minimum werden. Es mufs hierbei bemerkt werden, dafs für Maurerarbeiten das Material gewöhnlich viel theurer als die Arbeit ist, und je unregelmäfsiger die Steine sind, um so stärker wird der Verbrauch an Mörtel, der wieder theurer ist, als die Steine.

Diejenigen Fugen, welche mit dem Drucke parallel gerichtet sind, oder die Stofsfugen, dürfen keineswegs willkührlich angeordnet werden, vielmehr müssen sie so liegen, dafs sie sich nicht durch zwei oder mehrere auf einander folgende Schichten fortsetzen, wodurch das erwähnte Spalten der Mauer befördert wird, sie müssen vielmehr, soweit es geschehn kann, immer auf die Mitte der darüber und darunter liegenden Steine treffen. Diese Abwechselung der Stofsfugen nennt man den Verband. Zur gehörigen Darstellung desselben müssen die Bausteine nicht sämmtlich in derselben Richtung liegen, sondern ihre Längenrichtung oder ihre gröfste Achse mufs theils in die Richtung der Mauer, und theils normal dagegen treffen. Im ersten Falle nennt man sie Läufer oder Strecker, im letzten Binder. Haben die sämmtlichen Bausteine, die man in derselben Schicht verwendet, ungefähr gleiche Dimensionen, so läfst sich ein guter Verband dadurch erreichen, dafs die einzelnen Schich-

ten abwechselnd nur aus Läufern und nur aus Bindern bestehn. Bei sehr starken Mauern, und namentlich wenn sie aus Backsteinen ausgeführt werden, bringt man eine wesentliche Abwechselung in den Fugen noch dadurch hervor, dafs man in einzelnen Mauerschichten die Steine weder als Läufer, noch als Binder, sondern in eine Richtung legt, die beide unter einem Winkel von 45 Graden schneidet. Um Schichten dieser Art, die man Schmiegschichten nennt, an die äufsern Mauerflächen gehörig anzuschliefsen, braucht man besonders geformte Steine, bei denen zwei Seiten unter einem Winkel von 45 Graden gegen einander geneigt sind. Dieses sind die Spitz- oder Schmieg-Ziegel.

Damit die einzelnen Bausteine nicht brechen, so müssen sie gleichmäfsig unterstützt und gleichmäfsig belastet sein. Der Mörtel mufs sonach die ganze Lagerfuge gehörig füllen, und alle Ungleichheiten aufheben, so dafs die ganze Oberfläche eines Steines gleichmäfsig trägt. Beim Versetzen der Werkstücke wird häufig hierauf nicht gehörig Rücksicht genommen, und man führt eine Ungleichmäfsigkeit in der Unterstützung derselben oft dadurch ein, dafs man eine besondere Vorsicht auf den äufsern Theil der Fuge verwendet. Der Erfolg ist alsdann der, dafs der Stein im Innern der Mauer hohl liegt, und unter einem starken Drucke bricht, sobald seine relative Festigkeit diesem nicht mehr angemessen ist. Letztere hängt aber von dem Verhältnisse der Dicke des Steines zu seiner Breite oder Länge ab, daher ist eine geringe Ungleichmäfsigkeit in der Ausfüllung der Fuge weniger bei höheren Steinen, als bei dünnen Steinplatten nachtheilig.

Das Brechen eines Steines erfolgt besonders leicht, wenn derselbe zwei Mauern, die ein verschiedenes Setzen erfahren, mit einander verbinden soll. Hierher gehört besonders der Fall, wenn eine Mauer aus gebrannten Steinen oder aus Bruchsteinen durch Werkstücke auf einer Seite verkleidet wird. Die geringe Anzahl und die geringe Höhe der in der Verkleidung vorkommenden Lagerfugen veranlafst ein weit unbedeutenderes Setzen als in der Hintermaurung, und es brechen gewöhnlich die Binder, welche in letztere eingreifen, so dafs beide Theile der Mauer sich von einander trennen. Bei Gelegenheit der Ausführung des Mauerwerks wird die Rede davon sein, wie man diesem Uebelstande zu begegnen sucht, hier wäre nur zu bemerken, dafs, so weit es möglich ist, die

Fugen in der Hintermaurung nicht gar zu verschieden von denen in der Verkleidung ausfallen dürfen. Dabei kommt indessen auch das Schwinden des Mörtels in Betracht, und die Besorgniſs wird um so geringer, je stärker der Mörtel hydraulisch ist, und je weniger er beim Erhärten eine Verminderung des Volums erfährt. Welche Nachtheile durch eine solche Spaltung der Mauer veranlaſst werden, ist schon angeführt, man bemerkt sie häufig bei Mauern, die mit Werkstücken von aufsen verkleidet sind, und es zeigt sich dabei gewöhnlich ein starkes Ausbauchen in verticaler Richtung. Dieses rührt davon her, daſs die Verkleidung oben an der Hintermaurung befestigt ist, und indem letztere wegen des Schwindens des Mörtels in den Fugen an Höhe verliert, so kann jene, bei der eine ähnliche Verkürzung nicht vorkommt, nur folgen, indem sie sich biegt, und ihre äufsere Oberfläche sich krümmt.

In der obern Schicht der Mauer läſst sich eine zufällige und ungleichförmige Belastung gewöhnlich nicht vermeiden, und um hier den Bruch der am meisten, und vielleicht nur vorübergehend belasteten Steine zu verhindern, deckt man die Mauer mit besonders festen Steinplatten, oder sogenannten Deckplatten ab. Wenn man aber in dieser Schicht, wie im Innern der Mauer, gewöhnliche Ziegel verwendet, so pflegt man diese auf die hohe Kante zu stellen, oder eine Rollschicht daraus zu bilden. Eine solche darf aber, wenn Deckplatten nicht benutzt werden, am äufsern Rande der Mauer nie fehlen, weil hier die Gefahr des Brechens und Abstoſsens am gröſsten ist.

Die Werkstücke und gröſseren Bruchsteine pflegt man in derselben Lage gegen den Horizont zu verwenden, die sie im Steinbruche hatten, und man schreibt ihnen alsdann mehr Haltbarkeit zu, als wenn sie anders geneigt werden. Es kommt indessen hierbei die horizontale Richtung nicht in Betracht, und die Bedingung ist vielmehr diese, daſs die Schichtung des einzelnen Steines normal gegen den Druck gerichtet sein muſs. Der Grund dafür stimmt mit dem bereits erwähnten überein, denn in der Schichtung des Gesteins kommen gleichfalls minder feste Stellen vor, die der Mörtelfuge entsprechen, und bei einer schrägen Richtung oder wenn sie parallel zum Drucke gestellt werden, leicht die Bildung eines Bruches oder einer Spaltung befördern, wogegen sie als Lagerfugen keine so nachtheilige Wirkung äufsern.

Die rückwirkende Festigkeit der verschiedenen Mauermaterialien ist wiederholentlich beobachtet worden, und zwar schon früher durch Rondelet und Andre, während solche Messungen auch in neuerer Zeit auf die verschiedensten Bausteine ausgedehnt sind. Die Resultate dieser Beobachtungen sollen hier nur in runden Zahlen mitgetheilt werden. Eine grofse Schärfe ist dabei nicht zu erreichen und wäre auch ganz überflüssig, indem das gefundene Resultat immer nur gerade für das bei den Beobachtungen benutzte Stück, aber keineswegs allgemein für die ganze Steingattung gilt, wobei sich jederzeit grofse Verschiedenheiten zeigen. Bei den Beobachtungen über die Festigkeit der Materialien kommt es aber nicht sowohl darauf an, den mittleren Werth derselben anzugeben, als vielmehr denjenigen geringsten Werth, der, so lange man keine schadhaften Stellen im Aeufsern bemerkt, noch mit hinreichender Sicherheit vorausgesetzt werden darf. Man mufs sonach zu den Versuchen keineswegs besonders feste Stücke aussuchen, auch eine künstliche Form oder Zubereitung der Steine vermeiden, denn eine solche läfst sich vielleicht den Stücken aus den weicheren und schlechteren Schichten in demselben Bruche, obgleich diese zu Bausteinen noch brauchbar sind, gar nicht geben. Man würde in diesem Falle den Beobachtungen nur die festesten Steine zum Grunde legen und dadurch Resultate erhalten, die selbst für die Steine des untersuchten Bruches zu günstig ausfallen.

Rondelet stellte die Beobachtungen mit Würfeln von 23 Linien Seite an, Rennie dagegen wählte Würfel, die 18 Linien in der Seite mafsen, und Vicat benutzte nicht nur Würfel, sondern auch andre regelmäfsige Körper von verschiedenen Dimensionen. Würfel aus weicheren Steinen, die dem Drucke unterworfen werden, spalten nach Rondelet's Beobachtung zunächst in sechs Pyramiden, von denen jede einzelne eine Seite des Würfels zur Basis hat und deren Spitzen sämmtlich in den Mittelpunkt des Würfels fallen. Vicat fand dagegen, dafs wohl die Ecken zuerst abbrachen, dafs gemeinhin aber der ganze Körper in Staub zerfiel, wenn aber einzelne zusammenhängende Stücke übrig blieben, so hatten diese mindestens den vierten Theil ihrer Festigkeit verloren *). Es ergab sich aus allen Beob-

*) *Vicat, recherches expérimentales sur les phénomènes physiques qui précédent et accompagnent la rupture ou l'affaissement d'une certaine classe de solides. Annales des ponts et chaussées* 1833. *II. p.* 201.

achtungen, dafs der Bruch nicht momentan eintrat, und vielmehr eine gewisse Zeit zu seiner Bildung erforderlich war. Nach Vicat vergingen oft Monate, bis die Proben unter dem unveränderten Druck brachen, und dieses stimmt auch mit den Erfahrungen im Grofsen überein. Im Pantheon zu Paris bildeten sich die bedenklichen Risse erst in einem Zeitraum von 17 Jahren aus. Dieser Umstand macht die Resultate solcher Versuche in hohem Grade unsicher, denn der Druck, welchem der Stein während einer kurzen Dauer noch widersteht, löst vielleicht schon die innere Verbindung, ohne dafs man dieses bemerkt, und würde, wenn er länger dauerte, die Zerquetschung des Steines bewirken. Im Allgemeinen ist die Festigkeit bei gleichartigen Steinen dem Querschnitt proportional, doch ist sie nach Vicat um so gröfser, je niedriger der Stein ist. Rondelet nimmt dagegen an, dafs die Festigkeit sich als ein Maximum herausstellt, wenn die Höhe des Prismas der Seite seiner Basis gleich ist. Endlich bemerkt Rondelet auch noch, und hiermit stimmt Vicat gleichfalls überein, dafs die Form des Querschnitts oder der Basis nicht gleichgültig ist, und zwar ist die Festigkeit des Körpers um so gröfser, je geringer der Umfang seines Querschnitts ist. Aus diesem Grunde zeigt ein Cylinder eine etwas gröfsere Festigkeit, als ein gleich grofses und gleich hohes Parallelepipedum.

Die Resultate der erwähnten Beobachtungen sind in der nachstehenden Tabelle enthalten, worin die Zahlen die Anzahl von Pfunden bezeichnen, die zum Zerdrücken eines Steines von 1 Quadratzoll Querschnitt erforderlich sind.

Basalt	30000		
Granit	6000	bis	10000
Sandstein	13000		
Marmor	4000	bis	9000
weiche Kalksteine .	1000	bis	2000
gute Ziegel	1000	bis	1700
ordinaire Ziegel . .	500		
guter Mörtel . . .	600		
ordinairer Mörtel . .	400		

Man darf bei der Anordnung von Bauwerken auch nicht entfernt eine Belastung eintreten lassen, welche der vorstehend angegebenen Festigkeit entspräche. Die Gefahr eines Bruches tritt schon ein, sobald der Druck etwa dem zehnten Theile desjenigen Druckes

gleich kommt, den die Versuche bezeichnen, und als Maximum der Belastung bei gutem Material und sorgfältiger Arbeit darf man nur 300 Pfund auf den Quadratzoll ansehn *). Rondelet theilt eine Tabelle über den Druck von denjenigen Pfeilern und Säulen mit, die man als die kühnsten zu betrachten pflegt. Ich lasse sie hier in Preufsischem Maafs und Gewicht folgen. Der Quadratzoll Querschnitt erleidet nämlich eine Pressung, gleich der beistehenden Anzahl von Pfunden, in den

Pfeilern im Dom des Invalidenhauses zu Paris	216
Pfeilern des Doms St. Peter zu Rom . . .	239
Pfeilern des Domes St. Paul zu London . .	283
Säulen in der Kirche St. Paul bei Rom . . .	289
Pfeilern des Thurms der Kirche zu St. Mery .	430
Pfeilern des Domes vom Pantheon zu Paris .	431
Säulen der Kirche aller Heiligen zu Angers .	648

Bei der Brücke zu Neuilly, die schon sehr kühn angeordnet ist, tragen die Pfeiler in den untern Schichten nichts mehr, als 25 Pfund auf den Quadratzoll.

Sehr wichtig ist endlich noch der Umstand, dafs die Festigkeit, welche dem Material ursprünglich eigen war, mit der Zeit sich zuweilen vermindert, und dadurch den Ruin des Gebäudes herbeiführt. Eine Veränderung in dieser Beziehung wird, sobald keine zufälligen Beschädigungen vorkommen, durch klimatische Einflüsse veranlafst und namentlich ist es die Nässe und der Frost, welche besonders in ihrer Verbindung nachtheilig wirken. Die Nässe kann sich entweder durch die Fugen, besonders wenn diese nach aufsen ansteigen, in das Innere des Mauerwerks hineinziehn, oder sie dringt auch in die Steine selbst ein. Das Erste ist minder schädlich, indem jeder Bau so angeordnet werden sollte, dafs eine starke Cohäsion des Mörtels nicht nothwendig ist, und Letzterer nur zur gleichmäfsigen Unterstützung der Bausteine dient. Man kann auch die Fugen von aufsen mit wasserdichtem Cement schliefsen, und hierdurch der erwähnten nachtheiligen Einwirkung vorbeugen, wobei es freilich nöthig ist, dafs man von Zeit zu Zeit die Fugen untersucht und sie aufs Neue dichtet.

Viel bedenklicher ist es, wenn die Bausteine selbst sich in ihrer

---

*) *Navier, résumé des leçons etc.* Paris 1826 I. Partie. pag. 1 und 82.

Oberfläche verändern, indem sie verwittern oder ausfrieren. Bei gewöhnlichen Gebäuden, die keinem starken Andrange des Wassers ausgesetzt sind, kann man wohl durch Verputzen oder durch Oelanstrich die eigentliche Mauer, wenn sie auch aus wenig haltbarem Material bestehn sollte, sichern. Für gröfsere Bauwerke sind jedoch diese Mittel nicht ausreichend, und man mufs alsdann dafür sorgen, dafs die Bausteine weder verwittern, noch vom Frost leiden. Das Verwittern ist die Folge der chemischen Einwirkung des Wassers auf das Gestein oder auf einzelne Theile desselben. Die Frostbeständigkeit hängt dagegen von der Textur des Steines ab, und läfst sich sonach durch die chemische Untersuchung nicht erkennen. Die einfache Probe, ob der Stein einen Winter hindurch Nässe und Frost aushält, ohne zu zerfallen und ohne abzublättern, giebt noch keinen sichern Beweis für seine Frostbeständigkeit, obwohl gemeinhin die Gefahr des Ausfrierens am gröfsten ist, so lange die Bergfeuchtigkeit sich noch im Steine befindet. Dieses Ausfrieren, welches sowohl bei natürlichen, wie bei künstlichen Steinen sich zeigt, besteht darin, dafs an der Oberfläche die Körnchen ihren Zusammenhang verlieren und in dünnen Schichten oder Blättchen sich lösen und herabfallen, worauf beim nächsten Froste wieder derjenige Theil leidet, der nunmehr an der Oberfläche liegt. Oft sind es auch einzelne Schichten unter der Oberfläche, welche ihren Zusammenhang verlieren, und der äufsere Theil des Steines, der dadurch getrennt wird, zeigt zuweilen noch seine frühere Härte. Besonders auffallend ist die Erscheinung, welche Vicat anführt, das nämlich bei der Brücke zu Souillac diese Risse sich über die Stofsfugen fortsetzen, als ob die neben einander liegenden Werkstücke nur einen einzelnen Stein ausmachten. Die Ursache des Ausfrierens kann man jedenfalls nur darin suchen, dafs der Stein entweder überall oder vielleicht auch nur in einzelnen besonders porösen Schichten Wasser einsaugt, das beim Gefrieren ein gröfseres Volum einnimmt, und dadurch die Trennung bewirkt. Hierdurch erklärt es sich auch, dafs einzelne Schichten einen so starken Seitendruck ausüben, dafs sie die Mörtelfuge und den dahinter liegenden Stein spalten. Nichts desto weniger ist die Erscheinung in allen ihren Einzelheiten noch nicht aufgeklärt, wenigstens mufs man annehmen, dafs der am meisten der Zerstörung ausgesetzte Stein eine besondere Verwandtschaft zum Wasser hat, denn die Porosität allein, oder das Wasserquantum, welches der

Stein beim Benetzen aufnimmt, giebt noch keinen Maafsstab für seine Frostbeständigkeit. So saugt z. B. der Sandstein, woraus der Strafsburger Münster erbaut ist, zwanzig Procent Wasser ein, und nichts desto weniger leidet er beim Froste nicht, eben so zeigen sich manche Schieferarten, die sehr locker sind und grofse Quantitäten Wasser verschlucken, als frostbeständig, und dasselbe gilt auch vom Trafs, aus dem viele Kirchen im nordwestlichen Deutschlande erbaut sind.

Wenn man sonach ein Material benutzen mufs, das man in dieser Beziehung noch nicht aus langjähriger Erfahrung kennt, so setzt man den Bau einer nicht geringen Gefahr aus, und besonders läfst sich diese bei gebrannten Steinen nie ganz vermeiden, indem dieselben immer einige Verschiedenheit zeigen. Sehr wichtig wäre daher eine Probe, welche mehrjährige Erfahrungen entbehrlich machte. Der französische Mineraloge Brard, der die sehr starke Ausdehnung des Glaubersalzes beim Krystallisiren wahrnahm, glaubte hierin ein Mittel entdeckt zu haben, wodurch die Wirkungen des gefrierenden Wassers sich nachahmen lassen, und benutzte dieses zur Prüfung der Frostbeständigkeit der Steine. Leider mifsglückte die erste Anwendung, die Brard selbst in einem wichtigen Falle von seiner Methode machte. Es sollte nämlich die Brücke zu Souillac gebaut werden, und es kam darauf an, zu entscheiden, ob der in der Nähe brechende Stein, der im Uebrigen sehr brauchbar war, frostbeständig sei oder nicht. Brard unterzog sich der Untersuchung und kam zum Resultate, dafs der Stein vom Froste nicht leiden würde. Dieses war während zehn Wintern auch wirklich der Fall, als aber im Februar 1830 eine Kälte von 22 Graden eintrat, so fror der Stein aus *).

Ganz sicher möchte sonach die Probe wohl nicht sein, aber nichts desto weniger scheint sie doch einen Vergleich zwischen verschiedenen Steinen mit einiger Wahrscheinlichkeit zu gestatten. Héricard de Thury giebt folgendes Verfahren an. Die zu vergleichenden Steine werden in Würfel von etwa 2 Zoll Seite zersägt, wollte man ihnen durch Zuhauen die Form geben, so würde ihre Oberfläche dabei an Festigkeit verlieren. Man kocht sie alsdann eine halbe Stunde lang in einer Auflösung von Glaubersalz, die vor

*) *Annales des ponts et chaussées* 1833. *I. p.* 376. *ff.*

dem Kochen sich in gesättigtem Zustande befand. Sodann hängt man sie über dieser Auflösung auf, und wie die Krystalle sich daran zu bilden anfangen, so taucht man sie während fünf bis sechs Tagen abwechselnd immer von Neuem ein, indem eine Temperatur von 12 bis 15 Graden im Zimmer stattfinden muſs. Hierbei lösen sich Theilchen von den Würfeln ab, und aus der Vergleichung des Angriffes, den jeder derselben erfahren hat, kann man auf die mindere und gröſsere Frostbeständigkeit schlieſsen *). Vicat fand dagegen, daſs man schon zu brauchbaren Resultaten gelangt, wenn man 1 Theil Kochsalz in 2 Theilen Wasser auflöst, und die Würfel, ohne sie zu kochen, hierin nur kalt eintaucht. Ich habe dieses Verfahren an einigen Sorten von Mauersteinen versucht, und es zeigte sich in der That, daſs diejenigen Steine, deren Frostbeständigkeit schon anderweit bekannt war, weniger angegriffen wurden, als die minder dauerhaften, von denen einzelne Brocken bald abfielen. Es lösten sich von den letztern auch hin und wieder dünne Blättchen ab, wie dieses beim Ausfrieren der Steine zu geschehn pflegt, überhaupt hatte die Erscheinung in beiden Fällen eine nicht zu verkennende Aehnlichkeit, nur wäre zu wünschen, daſs man durch Vervollkommnung der Methode dahin gelangen möchte, bei der Probe eben so starke und auffallende Veränderungen zu bewirken, wie solche unter Einwirkung der Witterung erst nach mehreren Jahren einzutreten pflegen.

§. 3.

Stabilität der Futtermauern.

Der Druck, welchen die Hinterfüllungserde gegen die Futtermauer ausübt, ist in der obigen Auseinandersetzung für diejenige Richtung ermittelt worden, in welcher er normal gegen die innere Oberfläche der Mauer wirkt. Dieser Druck ist unabhängig von dem Umstande, ob die Mauer bei der ersten Bewegung parallel zu ihrer früheren Lage fortgeschoben, oder um die äuſsere Kante ihrer Basis gedreht wird, im weitern Verfolge dieser Bewegungen können sich

*) *Sganzin programme. Tome I.* Paris 1839. pag. 12.

freilich sehr verschiedenartige Verhältnisse herausstellen, die den Seitendruck der Erde wesentlich verändern. Hier ist jedoch nur davon die Rede, dafs der Anfang der Bewegung verhindert werden soll, und sonach kommen die späteren Modificationen nicht in Betracht. Das Fortschieben der Mauer über dem Fundamente oder dem Roste oder vielleicht über dem gewachsenen festen Boden kommt in der Wirklichkeit wohl nie vor, es verbietet sich durch die starke Reibung, welche zwischen Stein und Stein, oder zwischen Stein und fester Erde statt findet. Nur in dem Falle würde man das Eintreten einer solchen Bewegung besorgen müssen, wenn der Mörtel in den Lagerfugen noch nicht erhärtet ist, und vielleicht wie eine Schmiere wirkt. Aufserdem aber kann die Lagerfuge unter gewissen Umständen auch mit der Richtung desjenigen Druckes ungefähr übereinstimmen, der sich aus dem Seitendrucke der Erde und dem Gewichte der Mauer zusammensetzt, und alsdann würde die Gefahr nahe liegen, dafs die Bruchfläche sich in der Lagerfuge bildet. Gewöhnlich ist das Gewicht der Mauer überwiegend, und der zusammengesetzte Druck bleibt daher von der horizontalen Richtung noch weit entfernt, doch ist es jedenfalls sicherer, wenn man, wie bereits erwähnt, die Lagerfugen rückwärts und zwar normal gegen diesen Druck neigt. Besonders mufs man sich aber hüten, Futtermauern auf einen Felsboden zu stellen, dessen Oberfläche stark nach vorn abfällt, denn die Quellen, welche zwischen dem gewachsnen Boden und der Mauer sich gemeinhin hindurch ziehn, vermindern die Reibung, und sonach vereinigen sich in diesem Falle beide Ursachen, um die Mauer fortzuschieben.

Weit gröfser ist die Gefahr, dafs die Mauer sich um die äufsere Kante ihrer Basis dreht, und dieses ist der Fall, der in der Wirklichkeit meist vorzukommen pflegt, wenn Futtermauern einstürzen. Man darf dabei aber die Drehungsachse nicht unmittelbar in dem äufsern Rande der Mauer annehmen, vielmehr liegt sie immer etwas rückwärts. Dieses geschieht schon in dem Falle, wenn die Mauer auf einer durchaus festen Fundirung steht, denn indem die erwähnte Bewegung eintritt, so ruht das ganze Gewicht der Mauer auf der Kante, und diese wird, je nachdem das Material eine gröfsere oder mindere Festigkeit hat, auch mehr oder weniger zerdrückt, und sonach liegt die wirkliche Drehungsachse schon etwas weiter rückwärts. Noch übler ist es aber, wenn man die Mauer unmittelbar

oder mittelst eines liegenden Rostes auf aufgeschwemmten Boden stellt. Alsdann drückt die Mauer keineswegs gleichmäſsig die darunter befindliche Erde, sondern der Druck trifft am stärksten die äuſsere Kante, und indem hier die Erde ausweicht oder comprimirt wird, so entfernt sich die Achse, um welche die Mauer sich dreht, leicht um einen halben, auch wohl einen ganzen Fuſs von dem äuſsern Rande und in gleichem Maaſse verringert sich der Abstand, in welchem das Gewicht der Mauer wirkt. Dieser Uebelstand vermindert sich, wenn man den Fuſs der Mauer auswärts mit einem starken Banket versieht, oder den liegenden Rost vortreten läſst. Auſserdem muſs man durch sorgfältige Befestigung des Grundes unter dem äuſsern Rande der Mauer ein Senken möglichst zu verhindern suchen, und hier besonders feste Steine und gut erhärtenden Mörtel verwenden.

Die Bestimmung des Reibungswinkels für die Hinterfüllungserde ist in so fern besonders schwierig, als der verschiedene Feuchtigkeitszustand einen wesentlichen Einfluſs hierauf ausübt, und man muſs dabei den ungünstigen Fall voraussetzen, der nach der Localität überhaupt eintreten kann. Dieses geschieht, wenn die Erde stark mit Wasser durchzogen wird, wobei der Reibungswinkel oder ψ sich dem Werthe von 90 Graden nähert, oder vielleicht sogar der volle hydrostatische Druck eintritt. Wenn dieses stattfinden kann, so muſs die Mauer ungewöhnliche Dimensionen erhalten, es geschieht aber vorzugsweise da, wo die Futtermauer eine Kaimauer bildet, und das Hochwasser des Flusses über sie herüber tritt, und sich in die Hinterfüllungserde hineinzieht. So lange das Hochwasser anhält, so existirt für die Mauer keine Gefahr, indem der Druck auf beiden Seiten nahe gleich ist, sobald aber das Wasser im Strome fällt, und namentlich wenn es recht schnell fällt, so pflegt die Mauer, die für diesen Druck zu schwach profilirt war, einzustürzen. So fiel die Kaimauer in Nymwegen im Frühjahr 1823 gerade in der Zeit ein, als die Whaal sich schnell senkte und in ihr gewöhnliches Bette zurück trat. In ähnlicher Art hat sich dieselbe Erscheinung auch sonst wiederholt. Man kann in solchem Falle für die schleunige Austrocknung der Hinterfüllungserde wohl sorgen, wenn diese aus grobem Kiese besteht, und es empfiehlt sich alsdann, Abzugsröhren durch die Mauer hindurchzuführen. Beim Kiesboden ist indessen eine solche Gefahr am wenigsten zu besorgen,

wenn derselbe auch unter der Mauer und dem Roste sich fortsetzt, weil die Zwischenräume zwischen den einzelnen Körnchen hinreichend geöffnet sind, um das Wasser abzuführen. Bei schlammigem Boden dagegen, auf den sich eben alle Beispiele dieser Art beziehn, ist die Darstellung von freien Oeffnungen in so fern bedenklich, als man besorgen muſs, groſse Massen der aufgeweichten Erde dadurch gleichzeitig heraus zu spülen, jedenfalls sind die Rinnen alsdann mit Steinen auszufüllen, durch deren Zwischenräume das Wasser wie durch Sickergräben, sich hindurchzieht.

Diese Abzüge dürfen nicht fehlen, wenn Quellen von der innern Seite an die Mauer treten. Man erreicht durch solche Oeffnungen gleichzeitig noch den Vortheil, daſs sie das schnelle Austrocknen der Mauer befördern. Ein Beispiel hiervon giebt die Einfassung des Durchstiches bei Blisworth auf der London-Birmingham Eisenbahn. Dieselbe liegt stellenweise bis 50 Fuſs unter der Terrain-Höhe. Der Boden besteht zunächst aus einem jüngeren Kalk, der aber in der Tiefe von 25 Fuſs auf einem zur Tertiärformation gehörigen Klai ruht. Letzterer durfte neben dem Einschnitte von dem durch die Spalten des Kalkes hindurchdringenden Wasser nicht erweicht werden, weil sonst die Wandungen den Einsturz drohten. Man führte daher hinter der Futtermauer einen festen Lehmschlag aus, der die Sohle und die innere Wand des Sickergrabens bildete. Derselbe war 2 Fuſs breit und wurde mit Steinen gefüllt von $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser. Man gab ihm das starke Gefälle von 4 Zoll auf den laufenden Fuſs und in Abständen von 20 Fuſs befanden sich Abzugsrinnen, die das Wasser aus dem Sickergraben durch die Mauer hindurch führten*). Auf Taf. I. Fig. 5. *a* und *b* ist die Anordnung im Querschnitt und der Seitenansicht dargestellt.

Das Wasser übt zuweilen noch in andrer Beziehung einen sehr nachtheiligen Einfluſs auf Futtermauern aus, der darin besteht, daſs es sich zwischen die Mauer und die Hinterfüllungserde hineinzieht und hier entweder die nächste Thonlage stark durchnäſst, und sonach Veranlassung giebt, daſs dieselbe quillt oder aber es gefriert, und vergröſsert alsdann sein Volumen. In beiden Fällen wird die Mauer herüber gedrängt, sobald aber nach einiger Zeit wieder die

*) *Public works of Great Britain I. pag.* 39.

Verminderung des Volumens eintritt, so nimmt die Futtermauer keineswegs ihre frühere Stellung an, und es füllt sich der leere Zwischenraum dadurch, dafs die Erde von oben nachsinkt. Es stellen sich sonach die früheren Uebelstände von selbst wieder her, und bei der nächsten Veranlassung wiederholt sich dieselbe Bewegung. Ich hatte Gelegenheit, längere Zeit hindurch eine Mauer zu beobachten, die ursprünglich eine bedeutende äufsere Böschung hatte, in jedem Frühjahre aber um einige Zolle in dem obern Theile herausgedrängt wurde, worauf die dahinter liegende Strafse sich senkte. Nach acht Jahren hing die Mauer schon so weit über, dafs ihre theilweise Abtragung und Erneuerung nothwendig wurde. Wahrscheinlich kamen hier noch andre Umstände hinzu, die den Ruin beförderten, jedenfalls darf man aber die erwähnte Wirkung des Wassers nicht unbeachtet lassen, und man mufs durch Vergröfserung der Masse der Mauer, also durch Verstärkung, ihr die nöthige Festigkeit geben und zugleich verhindern, dafs der Frost nicht zu leicht hindurch dringt. Hierdurch begründet sich die Regel, dafs Futtermauern in ihrem obern Theile jedesmal eine gewisse Stärke behalten müssen und nicht scharf auslaufen dürfen, was in Bezug auf den Erddruck allerdings zulässig sein dürfte. Ihre Stärke in der Oberfläche mufs wenigstens $2\frac{1}{2}$ Fufs betragen, unter ungünstigen Umständen oder wenn ein Material benutzt wird, das nicht besonders lagerhaft ist, mufs sie aber mehr als 3 Fufs messen.

Bei der Berechnung des Erddrucks wird vorausgesetzt, dafs in der Bruchebene diejenige Reibung eintritt, welche der Erdart entspricht, zuweilen vermindern indessen die Quellen diese Reibung, und alsdann wird der Druck stärker. Dieses ist namentlich der Fall, wenn die Hinterfüllungserde auf einen Bergabhang unmittelbar aufgeschüttet wird, und eine augenscheinliche Gefahr würde man einführen, wenn man auf ein geschichtetes Gebirge, dessen Schichten gegen die Mauer abfallen, die Erde aufbringen wollte. Die Bruchebene würde unter solchen Umständen schon bei der Anlage vollständig dargestellt und indem das Wasser, welches über dem Gestein hinfliefst, die zunächst darauf liegende Erde erweicht, die sich dadurch in eine Schmiere verwandelt, so verschwände die Reibung beinahe ganz, und der Druck gegen die Mauer würde sich übermäfsig verstärken. Unter solchen Verhältnissen ist es daher nöthig,

den Abhang treppenförmig einzuschneiden, auch mufs man sich überzeugen, dafs die einzelnen Schichten des Gebirges gehörig gestützt sind, und nicht etwa selbst herabgleiten können.

Man kann die Stabilität einer Futtermauer wesentlich vermehren, sobald man ihre äufsere Fläche nicht senkrecht aufführt, sondern dieselbe gegen das Loth neigt, oder sie mit einer äufsern Böschung versieht. Es ist bereits erwähnt worden, dafs man in England dieses gewöhnlich thut: so zeigt Fig. 144 auf Taf. XI im ersten Theile dieses Handbuches das Profil der Kaimauer des Verbindungsdocks zu Hull, Fig. 154 auf Taf. XII die Kaimauer ebendaselbst und Fig. 155 die Umschliefsungsmauer des Georgesdocks zu Liverpool. In diesen Fällen ist die horizontale Projection oder die Basis der dossirten Fläche durchschnittlich dem sechsten bis fünften Theile der Höhe gleich, man wählt aber in neuerer Zeit zu diesen schrägen Flächen nicht Ebenen, sondern cylindrische Flächen, welche oben in Verticalebenen übergehn. Auf solche Art liegt der stark dossirte Theil der Mauer so tief, dafs er entweder immer unter Wasser bleibt, oder doch bei jeder Fluth vom Wasser bedeckt wird, und es kann sonach die Neigung der Lagerfugen nicht leicht Veranlassung zur Beschädigung der Mauer geben. Nichts desto weniger wählt man dieselbe Profilirung zuweilen auch da, wo kein Wasserstand vor der Mauer stattfindet, und es mufs alsdann durch sorgfältige Unterhaltung der Fugen dem Eindringen des Regenwassers vorgebeugt werden. Allgemein geschieht es aber in England, dafs die Mauer in ihrem untern Theile nicht viel stärker als oben ist, sich also bedeutend zurücklehnt, und sich in eine schräge Futtermauer verwandelt. Sie erhält alsdann, von der geringern Dicke abgesehn, ungefähr dasselbe Profil, welches man auch bei uns den ohne Mörtel ausgeführten, sogenannten trocknen Mauern zu geben pflegt. Der Widerstand gegen den Erddruck wird bei gleicher Mauermasse in diesem Falle viel gröfser, dagegen liegt die Mauer auf der Hinterfüllungserde auf, und sie ist daher nicht ganz sicher unterstützt, wodurch leicht die Gefahr eines Bruches herbeigeführt wird. Bei den erwähnten Futtermauern wird dieses Aufliegen auf der Hinterfüllungserde gewöhnlich dadurch vermieden, dafs in geringen Abständen Strebepfeiler an der hintern Fläche der Mauer angebracht sind, welche unten weiter vortreten, als oben und zuweilen von vertikalen Flächen rückwärts begrenzt werden.

Dieselben halten an sich schon die Mauer, und wenn man auch sehr sorgfältig die Hinterfüllung anzustampfen pflegt, so hängt ihre Stabilität doch keineswegs von dieser Unterstützung allein ab. Was die sonstigen Dimensionen betrifft, die man in England den Futtermauern zu geben pflegt, so beträgt die Stärke derselben, welche häufig von unten nach oben in einigen Bankets um geringe Quantitäten sich vermindert, durchschnittlich nur den fünften bis sechsten Theil der Höhe. Die Lagerfugen sind jederzeit normal gegen die äufsere Fläche gerichtet. In Abständen von 12 bis 18 Fufs von Mitte zu Mitte sind hinter der Mauer die Strebepfeiler angebracht, deren Stärke durchschnittlich mit der der Mauer selbst übereinkommt, und nicht leicht über 4 Fufs mifst. Die Länge der Pfeiler endlich ist so gewählt, dafs sie oben ungefähr mit der Stärke der Mauer übereinstimmt. Auf diese Art wird die Mauermasse im Ganzen geringer, als bei lothrechten Mauern ohne Strebepfeiler, doch mufs dabei sorgfältige Arbeit, so wie auch gutes Material vorausgesetzt werden.

Dafs man die äufsern Flächen der Mauern schräge anlegt, geschieht auch in Deutschland und Frankreich häufig und namentlich ist dieses bei Festungsbauten allgemein üblich. Nach Vauban beträgt die obere Stärke der Mauer mit Rücksicht auf die Güte des Mauerwerks $4\frac{1}{2}$ bis $5\frac{1}{2}$ Fufs, also durchschnittlich 5 Fufs. An der innern Seite ist die Mauer lothrecht aufgeführt, an der äufsern dagegen stark geneigt, so dafs die Anlage dem fünften Theile der Höhe gleich kommt. In Abständen von 15 oder 18 Fufs von Mitte zu Mitte sind Strebepfeiler an der innern oder lothrechten Mauerfläche angebracht, die gleichfalls lothrecht aufgeführt sind, ihre Länge beträgt 3 Fufs weniger als die untere Stärke der Mauer, die Breite mifst dagegen an der Seite, wo sie sich an die Mauer anschliefst, die Hälfte von der um einen Fufs verminderten untern Stärke der Mauer, an der entgegengesetzten Seite oder am Ende der Strebepfeiler beträgt ihre Breite den dritten Theil von der um einen Fufs verminderten untern Stärke der Mauer*). Diese Dimensionen sind augenscheinlich sehr grofs, und viel gröfser, als sie bei Futtermauern im Civilbau vorzukommen pflegen, man darf aber nicht vergessen, dafs es sich hierbei nicht allein um dem Erddruck, sondern auch

*) *Bélidor, la science des Ingénieurs.* Ausgabe von 1813. Seite 81.

um den gehörigen Widerstand gegen die Wirkung des Geschützes handelt. Fig. 6. *a* und *b* zeigt eine solche Mauer von 20 Fufs Höhe, im Durchschnitt und in der Ansicht von oben.

Man pflegt bei ähnlichen Profilen nicht leicht die Lagerfugen in ihrer ganzen Breite schräge durch die Mauern hindurchzuführen, wohl aber giebt man ihnen gewöhnlich zunächst der äufsern Mauerfläche eine normal dagegen gerichtete Lage, und bricht sie in einiger Entfernung, so dafs sie in die Horizontale übergehn, also die Hauptmasse der Mauer mit horizontalen Fugen aufgeführt ist. Auf solche Art entsteht eine Verblendung, die mit der Mauer nicht gehörig verbunden ist, und wenn man gewöhnlichen Mörtel anwendet, so zieht sich das Wasser leicht in die schräge abwärts geneigten Fugen hinein. Solche Verblendungen sind daher häufigen Reparaturen unterworfen. Vortheilhafter ist es, wie auch in neuerer Zeit vielfach geschieht, schräge Futtermauern durchweg in horizontalen Schichten, also mit horizontalen Lagerfugen aufzuführen. Bei Anwendung von Werkstücken ist dieses ohne Nachtheil, weil denselben leicht die nöthige Schmiege zu geben ist, bei Ziegelmauern kann man aber eine solche Abschrägung der einzelnen Steine nicht vornehmen, ohne die Steine einem schnellen Verderben auszusetzen. Dieselben sind nämlich in der dossirten Fläche, welche vom Regen getroffen wird, an sich schon weniger dauerhaft, als in senkrechten Mauern, wenn man sie aber durch die Bearbeitung des Kopfes der festen Brandkruste beraubt und sie aufserdem noch durch die Hammerschläge mürbe macht, wodurch zum Entstehn von vielfachen Rissen Veranlassung gegeben wird, so leiden sie durch Frost und Nässe um so mehr. Wenn man daher nicht Formsteine benutzen kann, so bleibt nur übrig, eine Schicht gegen die andre zurücktreten zu lassen, was bei der geringen Höhe der Steine weniger nachtheilig ist. Wenn die Anlage der Mauer, wie bei dem Vauban'schen Profile ein Fünftheil beträgt, so tritt jede Schicht etwa um einen halben Zoll zurück, bei ein Zehntel aber nur um einen Viertel Zoll, was kaum noch als Uebelstand betrachtet werden kann. Dafs die Steine auch in diesem Falle noch mehr von der Witterung leiden, als bei senkrechten Mauern, ist nicht in Abrede zu stellen, doch ist dieses die natürliche Folge der schrägen Mauerfläche, und man mufs daher bei solcher Profilirung nicht nur für vorzügliches Material und gute Arbeit, sondern auch für aufmerksame Unterhaltung sorgen.

In den Niederlanden sieht man nicht selten Uferschälungen, die aus Klinkern ausgeführt und sehr stark dossirt sind. Dabei ist der innere Theil der Mauer horizontal abgetreppt, und hierauf ruht die Verkleidung, welche mit schrägen Fugen versehn ist, wie Fig. 48 auf Taf. VI zeigt. Das vorzügliche Steinmaterial, wie der gute Mörtel und die sorgfältige Unterhaltung tragen gewifs viel zur Dauer dieser Bauwerke bei. Wenn aber in der Verkleidung Beschädigungen vorkommen, so lassen sie sich leicht wieder herstellen, ohne dafs man den Verband der innern Mauer berühren darf, auch wird bei dieser Anordnung dem tiefern Eindringen des Wassers vorgebeugt, falls einige schräge Fugen sich stark öffnen sollten. Die mitgetheilte Figur sellt eine Ufereinfassung der Maas bei Rotterdam dar.

Die Strebepfeiler bilden eine vorzügliche Stütze für die Mauer, wenn sie mit derselben innig verbunden sind, und wenn der zwischen zwei Pfeilern liegende Theil der Mauer sich gleichfalls nicht trennen kann. Diese Bedingungen finden indefs keineswegs immer statt, und sonach möchte es im Allgemeinen vortheilhafter sein, die Anordnung so zu wählen, dafs jeder Theil der Mauer schon an sich die nöthige Stabilität besitzt. Wenn in einer Mauer, die mit Strebepfeilern versehn ist, mit der Zeit der Verband sich zu lösen anfängt, so bemerkt man, wie die zwischenliegende Theile in horizontalen Bogen sich ausbauchen, während da, wo die Strebepfeiler stehn, die Mauer ihre frühere Stellung beibehält. Nicht selten erfolgt auch eine förmliche Trennung der Mauer von den Strebepfeilern und dieses geschieht um so leichter, je schmaler die Verbindungsfläche zwischen beiden ist. Man hat es zuweilen versucht, die Pfeiler in ihrer Wurzel, oder an der Seite, wo sie aus der Mauer treten, schmaler zu machen, als am äufsern Ende, so dafs sie eine schwalbenschwanzförmige Grundfläche zeigen. Alsdann wirkt ihre Masse zwar um so kräftiger auf die Stabilität der Mauer, aber die ebenerwähnte Gefahr wird auch um so gröfser, und sie können leicht ihre ganze Wirksamkeit verlieren. Angemessen ist die von Vauban gewählte Anordnung, wobei gerade in entgegengesetzter Art die Wurzel eine gröfsere Breite erhält, als der übrige Theil des Pfeilers.

Die Erde zwischen den Strebepfeilern trägt an sich schon zur Vermehrung der Stabilität bei, man hat indessen verschiedentlich ihr Gewicht vollständig auf die Pfeiler übertragen. Auf solche Art sind zuweilen Schälungsmauern gebildet, welche wegen der geringen

Mauerstärke auffallen. Ein Beispiel dieser Art zeigt die in Fig. 7 Taf. I dargestellte Construction, welche in Bremen an der Weser einigemal vorkommt. Das Material ist der sehr feste Obernkirchner Sandstein. Die Mauern haben etwa eine Höhe von 12 Fufs und ruhn auf Pfahlrosten. Es wechseln dabei Läufer- und Binderschichten mit einander ab, die Binder füllen aber keineswegs die ganze Schicht, sondern es sind dazwischen Tafeln eingesetzt, welche das Durchfallen der Erde verhindern. Die Binder, welche die Pfeiler darstellen, sind länger als die Läufer breit sind, und ihre hintern Enden werden noch durch kurze Steinstücke gestützt. Die Maafse ergeben sich aus den Figuren, *b* stellt die Ansicht von vorn dar, *a* den Querschnitt durch die erwähnten Füllungen, und *c* desgleichen durch die Binder. Man bemerkt in *a*, wie die Hinterfüllungserde die Mauer belastet, und dadurch ihre Stabilität sichert. Gauthey wählte bei Erbauung einer Kaimauer bei Châlons an der Saone eine andre Anordnung*). Zwischen je zwei Pfeilern sind nämlich drei Bogen über einander gespannt, welche durch die Hinterfüllungserde belastet werden. Gauthey erwähnt, dafs er hierbei mehr als ein Drittel der Mauermasse erspart habe und dafs überdies hierdurch noch in dem Pfahlroste eine beträchtliche Ermäfsigung der Kosten eingeführt sei.

Bei dieser Gelegenheit wären auch die niedrigen Ufereinfassungen zu erwähnen, welche man in Holland häufig neben den Kanälen vor den Gärten sieht. Sie bestehn aus Dachpfannen, die seitwärts in derselben Art, wie auf dem Dache, übereinander greifen und von denen eine Reihe immer über der andern liegt. Die Stärke der Mauer kommt sonach mit der Länge der Dachpfanne überein, ihre Höhe beträgt aber ein bis zwei Fufs und die Erde, welche sich in die horizontalen Fugen hineinzieht, giebt dem Bau die nöthige Stabilität.

Wenn eine Futtermauer rückwärts überhängt und von Strebepfeilern gestützt wird, so kann noch die Besorgnifs entstehn, dafs der zwischenliegende Theil der Mauer durchbiegen und sich rückwärts senken möchte. Bei der Einfassung des Georgesdocks zu Liverpool, deren Fundirung bereits im ersten Theile § 34 beschrieben ist, und von der das Profil in Fig. 155 auf Taf. XII mitgetheilt

*) *Gauthey, traité de la construction des ponts. I. pag.* 381.

wurde, hat man, um das Brechen der eigentlichen Mauer zu verhindern, aufrecht stehende Gewölbekappen zwischen je zwei Pfeilern aufgeführt, deren Anfänge die punktirte Linie in der Figur bezeichnet. Aehnlich ist auch die Kaimauer in Sherness angeordnet. Der Boden war hier so locker, dafs man selbst auf den Pfahlrost keine volle Mauer zu stellen wagte. Man gab ihr daher im Innern sehr bedeutende hohle Räume, die sowohl unten als auch vorn und hinten durch Gewölbe eingeschlossen wurden. Fig. 8. *a* zeigt den Querdurchschnitt, *b* den Längendurchschnitt und *c* den Grundrifs, die Ausführung geschah mittelst der Taucherglocke, und die erwähnten hohlen Räume waren rings mit wasserdichtem Mauerwerke umgeben. Man füllte sie aber mit einem besonders leichten kreideartigen Kalkstein *).

Es darf kaum erwähnt werden, dafs Mauern die auf der innern Seite mit Banketen versehn sind, durch die auf den letzteren ruhende Hinterfüllungserde wesentlich an Stabilität gewinnen.

Bisher ist nur von den Strebepfeilern auf der innern Seite der Mauern die Rede gewesen, offenbar sind dieselben in noch höherem Grade wirksam, wenn sie auf der äufsern Seite stehn, und zwar aus dem Grunde, weil bei einer eintretenden Drehung um ihren äufsern Rand die ganze volle Mauer sich heben müfste. Eine Anordnung dieser Art vermeidet man gewöhnlich, weil die äufsere Fläche der Mauer alsdann unterbrochen wird, nichts desto weniger kommen doch zuweilen Fälle dieser Art vor und ein Beispiel davon giebt wieder die Einfassungsmauer in dem Einschnitte bei Blisworth auf der London-Birminghamer Eisenbahn, die Fig. 5 Taf. I zeigt. Der Querschnitt *a* ist auf der rechten Seite durch einen Pfeiler, auf der linken dagegen durch die Mauer zwischen zwei Pfeilern gelegt, während die Seitenansicht *b* den Canal der Länge nach durchschneidet, der das Sickerwasser abführt wovon bereits die Rede war.

Hölzerne Uferschälungen werden durch Erdanker gegen den Seitendruck der Erde gesichert, bei Futtermauern mufs eine Verankerung dieser Art aber als unpassend angesehn werden, weil sie zu wenig dauerhaft ist. Die von De Cessart ausgeführte Kaimauer zu Rouen erhielt zwar, wie auf Taf. XII des ersten Theiles Fig. 156

*) *John Rennie, theorie, formation and construction of harbours.* London 1854.

angegeben ist, hölzerne Erdanker, doch sollten diese nur so lange wirksam sein, bis die Erdschüttungen sich gehörig gesetzt haben würden. Andrerseits erhält man zuweilen baufällige Mauern noch einige Zeit durch Erdanker, wie ich dieses z. B. bei Briel gesehn habe, und es verdient erwähnt zu werden, dafs man eiserne Verankerungen, die jedoch gleichfalls von hölzernen Ankerpfählen ausgehn, in England nicht selten an den Umfassungsmauern der Docks vorfindet, doch dienen sie häufig nicht zur Stütze für die Mauern selbst, sondern sie stehn vielmehr mit den Schiffsringen in Verbindung, so dafs sie den von den letztern ausgehenden Zug auf das feste Erdreich hinter der Mauer übertragen.

Nach der vorstehenden Auseinandersetzung erscheint eine solche Anordnung der Futtermauer am solidesten, wobei das Profil an jeder Stelle hinreichend stark ist, um dem Erddrucke zu widerstehn, Strebepfeiler, sowie jede sonstige Befestigung werden dadurch entbehrlich. Aufserdem ist im Allgemeinen gewifs die lothrechte Aufführung der äufsern Mauerfläche einer geneigten vorzuziehn. Dagegen kann man ohne Nachtheil die innere Fläche dossiren, oder noch besser, sie mit Banketen versehn, wodurch eine starke Belastung der Mauer durch die Hinterfüllungserde veranlafst wird, welche wesentlich zur Vergröfserung der Stabilität beiträgt. Fig. 9 zeigt ein solches Profil, und dieses ist dasselbe, wonach man bei uns die Futtermauern aufzuführen pflegt. Die mittlere Stärke der Mauer beträgt gewöhnlich zwischen ein Viertel und ein Drittel, also durchschnittlich etwa zwei Siebentheile der Höhe. Je mehr das Hinterfüllungsmaterial zu Zeiten erweicht werden kann, um so gröfser mufs die Stärke angenommen werden. Dabei verdient noch Erwähnung, dafs die Futtermauern in den Französischen Häfen nach der von Gayant gegebenen Zusammenstellung*), ohnerachtet sie nach aufsen dossirt sind, dennoch mehr als den dritten Theil und zuweilen nahe die Hälfte der Höhe zur mittleren Stärke erhalten haben.

Es mufs noch die Anwendung des Bétons beim Bau der Futtermauern und namentlich der Kaimauern berührt werden. Schon im ersten Theile §. 48 ist hiervon die Rede gewesen. Diese Constructions-Art hat für die unter Wasser liegenden Theile den we-

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1831. II. pag. 62.

sentlichen Vorzug vor gewöhnlichem Mauerwerk, dafs man die Fangedämme und das Wasserschöpfen, und zugleich die Gefahr umgeht, dafs die während des letzteren durch den Untergrund dringenden Quellen, diesen auflockern und seine Tragfähigkeit vermindern. Doch auch die obern Theile der Mauer, die man ohne Wasserschöpfen aus Bausteinen in gehörigem Verbande ausführen könnte, werden in neuerer Zeit zuweilen in Béton dargestellt. Namentlich geschieht dieses in England, wo der Béton nicht so theuer ist, als bei uns, indem festes Gerölle von passenden Dimensionen in den meisten Flufsmündungen sich vorfindet, und dasselbe sogar häufig in gehörigem Verhältnifs schon mit Sand gemengt ist, und man daher nur noch Cement oder hydraulischen Kalk hinzuzusetzen braucht. Dazu kommt, dafs beim Béton der Arbeitslohn sich bedeutend niedriger, als beim Mauern stellt, man auch nicht besorgen darf, dafs der Verband vernachläfsigt wird, oder die Fugen im Innern offen bleiben. Nichts desto weniger pflegt man mit Rücksicht auf manche Erfahrungen den Béton nicht unmittelbar dem Angriffe des Wassers auszusetzen, vielmehr denselben auf der äufsern Seite in irgend einer Weise zu verkleiden.

In der Kaimauer des Victoria-Docks in London geschah dieses durch eine Spundwand aus Gufseisen, ähnlich der im ersten Theile auf Taf. XIV in Fig. 223 dargestellten, über welcher eine aufgesetzte, gleichfalls eiserne Wand sich bis zur Deckplatte erhob. Jene Wand, die sich nur lose gegen den Béton lehnte, ist aber rückwärts durch Eisenstangen gegen Pfähle verankert. Die Béton-Mauer steht im Niveau der Sohle des Dock-Bassins auf einer Kiesschicht und erhebt sich einige Fufs über Springfluth-Höhe. Sie ist auswärts im Verhältnifs von 1 zu $3\frac{1}{2}$ geneigt, während sie im Innern lothrecht ansteigt. Ihre mittlere Stärke ist dem dritten Theile ihrer Höhe gleich. Sie wird von einer starken Quaderschicht überdeckt. *)

Wichtiger ist der im Jahre 1840 begonnene Bau der Kaimauer im Southampton-Dock. Dieselbe wurde ursprünglich in mäfsigen Dimensionen ausgeführt. Der Untergrund aus sandigem Thon und sehr losem Sande bestehend bot jedoch nicht hinreichende Festigkeit, woher man den äufsern Rand der Mauer auf eine Pfahlreihe stellte,

---

*) Zeitschrift des Hannoverschen Architekten- und Ingenieur-Vereins. Band III. 1857. Seite 334.

während sie im übrigen Theile mit den auf der innern Seite angebrachten Strebe-Pfeilern auf einem liegenden Roste ruhte. Es traten sehr bald Bewegungen ein, indem die Mauer in das Bassin geschoben wurde, ohne dabei ihre Neigung zu verändern. Man versuchte nun, sie durch starke Anker zu halten, indem man etwa 100 Fufs hinter ihr grofse Mauermassive zwischen verstrebten Pfahlwänden bildete, die in der Richtung der Anker 20 Fufs lang waren, während ihre vordere Breite 15 Fufs, die hintere 10 Fufs und die Höhe etwa 8 Fufs maafs. Starke eiserne Anker verbanden dieselben mit der Kaimauer, aber der Druck des letzteren war so stark, dafs die Anker sich streckten und zerrissen, worauf die Mauer einstürzte. Bei Beseitigung des Baues bemerkte man, dafs die Pfähle, auf welchen der liegende Rost auflag, theils stark nach vorn übergebogen und theils gebrochen waren. Es ist auch nicht zu verkennen, dafs der liegende Rost, indem er sich senkte, den darunter befindlichen Boden verdrängen und dadurch den Druck gegen die Pfahlwand noch vermehren mufste. Man ging nun zu einer ganz andern Construction über, indem man die Pfähle und den liegenden Rost beseitigte, dafür aber ein Bétonbette unter der Mauer ausführte und dieses noch durch eine sehr starke Béton-Mauer an der innern Seite unterstützte. Letztere hat oben nur geringe Stärke, während unten beide Mauern zusammen eine Stärke haben, welche sehr nahe zwei Dritteln der ganzen Höhe gleich kommt. *)

In dem Canale, der den Binnenhafen von Cette bildet, hatte man schon früher neben der Brücke Legrand Kaimauern aus Béton, und zwar ohne Verkleidung ausgeführt. Diese hatten jedoch sehr gelitten und grofse Massen waren gelöst nnd abgefallen. Die Ursache hiervon war wahrscheinlich, dafs man zur Zeit der Erbauung derselben bei der Wahl des Cementes weniger Vorsicht beachtet hatte. Im Jahre 1851 erschien eine durchgreifende Reparatur dringend geboten, doch durfte dabei die sehr belebte Passage nicht unterbrochen werden, woher man sich entschlofs die entstandenen Oeffnungen mit gutem Béton auszufüllen. Die Arbeit mufste indessen ganz unter Wasser und zum Theil in grofser Tiefe erfolgen. Sie geschah daher durch Taucher, die in Skaphandern (wovon später

---

*) Zeitschrift des Hannoverschen Architekten- und Ingenieur-Vereins. Band VIII. Seite 310.

die Rede sein wird) herabgelassen wurden. Man stellte zwei starke eiserne Stangen vor die äufsere Fläche der Mauer und der Taucher schob, wo eine schadhafte Stelle sich vorfand, horizontal ein Brett davor und füllte den leeren Raum mit Béton, worauf ein zweites Brett eingebracht und dieses wieder hinterfüllt wurde und so fort. *)

In neuerer Zeit hat man in Cette bei grofser Tiefe Kaimauern aus bereits erhärteten sehr grofsen Béton-Blöcken gleichfalls mit Hülfe von Tauchern ausgeführt. Die Construction ist im dritten Theile dieses Handbuches §. 82. beschrieben und in Fig. 228 auf Taf. XLIII dargestellt.

§. 4.

Ausführung des Mauerwerks.

Es ist bereits nachgewiesen, wie nothwendig der geregelte Verband zur Darstellung einer festen Mauer ist, und wie es nicht nur darauf ankommt, dafs die Stofsfugen zwischen den einzelnen Steinen gehörig überdeckt, sondern auch diese schichtenweise aufgebracht und regelmäfsig abgeglichen werden müfsen, indem man die Lagerfugen, wie die Stofsfugen vollständig mit Mörtel füllt. Dieses Verfahren wird jedoch nicht selten dadurch verhindert, dafs das Steinmaterial zwar im Innern der Mauer mit Sicherheit verwendet werden kann, jedoch für die äufsere Fläche, die sowol den Einwirkungen der Witterung, wie auch vielleicht sonstigen Angriffen am meisten ausgesetzt ist, nicht die nöthige Festigkeit besitzt.

Wenn die Mauer mit Werkstücken verkleidet ist, zu deren inniger Verbindung der Mörtel nur wenig beizutragen pflegt, so mufs man noch besondere Vorsicht anwenden, dafs bei einer etwa eintretenden Trennung einzelner Steine diese sich nicht vollständig lösen, und vielleicht herausfallen. Am einfachsten geschieht dieses, wenn man die Binder, die eine mehr gesicherte Lage haben, in ihren Köpfen schwalbenschwanzförmig bearbeitet, wie Fig. 10 zeigt. Es werden dadurch die zwischenliegenden Läufer am Herausfallen gehindert. Die Fuge darf indessen nicht bis zur äufsern Fläche schräge geführt

*) *Annales des ponts et chaussées* 1858. *II. pag.* 84.

werden, weil sonst eine scharfe Kante entstehn würde, die leicht ausbrechen könnte. Andrerseits wendet man hierbei auch häufig metallne Klammern oder Anker an, und zwar gewöhnlich eiserne, indem das Kupfer zu kostbar ist. Beim Eisen mufs jedoch die Veranlassung zum Rosten vermieden werden, denn dadurch vergröfsert es sein Volum und sprengt den Stein, wie dieses häufig bemerkt werden kann. Man pflegt die Oberfläche des Eisens mit einem für das Wasser undurchdringlichen Ueberzuge zu versehn, und zwar geschieht dieses gewöhnlich, indem man es heifs mit Theer oder Leinöl bestreicht. Aufserdem aber mufs das Eisen im Steine vergossen werden, was schon deshalb nöthig ist, um allen Spielraum zu entfernen und selbst kleinere Bewegungen unmöglich zu machen. Man bedient sich hierzu am vortheilhaftesten des Bleies, welches beim Erkalten sich zusammenzieht und dadurch das Eisen fest einschliefst. Dasselbe wirkt überdies nicht nachtheilig auf das Eisen ein, was der Schwefel thut, womit man gleichfalls zuweilen die Anker im Steine vergiefst. Wenn das Wasser im letzten Falle mit dem Eisen in Berührung treten kann, so befördert der Schwefel noch die Oxydation, und der erwähnte Bruch der Steine erfolgt um so schneller. Fig. 11 zeigt die gewöhnliche Steinklammer und Fig. 13 eine Verankerung, welche insofern den Vorzug verdient, als man dadurch den Stein mehr in der Mitte fassen, und eine vollständigere Verbindung bewirken kann. Man legt dabei die Eisenschienen in vertiefte Rinnen, und bohrt an den Stellen, wo die Löcher für die Splinte angebracht sind, im Steine die passenden Oeffnungen ein, alsdann stellt man die Splinte auf und vergiefst sie. Indem derselbe Splint zwei Anker umfafst und er aufserdem durch zwei Steinschichten reichen kann, so wird es möglich, ganze Steinschichten unter sich und mit den nächsten Schichten zu verbinden. Es ist indessen die Veranlassung zu einer solchen Verankerung selten vorhanden. Die Anwendung des Schmiedeeisens in der Mauer ist aber insofern schädlich, als beide Materialien sich verschiedenartig bei eintretender Erwärmung ausdehnen. Vom Gefrierpunkte bis zum Siedepunkte des Wassers dehnt sich das Schmiedeeisen um $\frac{1}{800}$ aus, während Granite und manche Sandsteine sich nur um $\frac{1}{1300}$ und Ziegel sogar nur um $\frac{1}{2000}$ ausdehnen. Hiernach kann ein eiserner Anker, auch wenn er nicht rostet, leicht einen Bruch der Mauer veranlassen, statt denselben zu verhindern.

In der obern Steinschicht, oder den Deckplatten, ist dagegen die Veranlassung zur Trennung einzelner Steine viel häufiger, und namentlich ist sie kaum zu vermeiden, wenn ein starker Verkehr darauf stattfindet, wie auf Kaimauern und Schleusenmauern. Die Gefahr vermehrt sich aber noch, wenn man wirkliche Platten benutzt, deren Gewicht nur geringe ist, und die sonach an sich keine besonders feste Lage haben. In diesem Falle mufs man die Deckplatten durch künstlichen Fugenschnitt in einander greifen lassen, damit ein Stein, der vielleicht lose geworden ist, noch immer durch die beiden nächsten in seiner Stellung gehalten wird. Fig. 14, Taf. II zeigt die gewöhnlichste Verbindung dieser Art, doch kommen häufig auch quadratische Steindübel vor, die man zwischen je zwei Deckplatten einsetzt, und die mit den gegenüber stehenden Ecken in diese eingreifen, wie Fig. 51 auf Taf. VI zeigt.

Unter besondern Umständen kann es nöthig werden, auch einigen Verband zwischen den einzelnen Steinschichten darzustellen, damit dieselben nicht übereinander fortgleiten. Es ist schon früher die Rede davon gewesen, und erwähnt, dafs man beim Bau des Leuchtthurmes auf Bell-Rock steinerne Würfel, in je zwei Schichten zu diesem Zwecke eingreifen liefs (Theil I. §. 32). Dasselbe Verfahren wendet man auch zuweilen bei Brückenpfeilern an, wenn man besorgt, dafs durch das Gegentreiben von grofsen Eisschollen einzelne Steinschichten in Bewegung gesetzt werden möchten. Beim Bau des Widerlagers zur Neuen London-Brücke liefs man zu gleichem Zwecke einzelne Kopfsteine durch 2 Schichten hindurchgreifen, wie in Fig. 143 auf Taf. XI des ersten Theiles angegeben ist. Es geschieht aber auch, dafs man jede einzelne Schicht an der äufsern Fläche mit einer vortretenden Brüstung versieht, wogegen die folgende Schicht sich lehnt, und letztere ist auf gleiche Art wieder mit der nächsten verbunden. Fig. 16, Taf. II. zeigt diese Anordnung, die man namentlich in den französischen Seehäfen zu wählen pflegt, wenn die Mauern einem starken Wellenschlage ausgesetzt sind.

Wenn eine Futtermauer, wie dieses gewöhnlich geschieht, aus gebrannten oder aus Bruchsteinen ausgeführt wird, und man verkleidet sie auf der äufsern Fläche mit Werkstücken, um ihr theils ein besseres Ansehn zu geben, und theils auch, um der atmosphärischen Einwirkung oder andern Angriffen ein festeres Ma-

terial entgegenzusetzen, so können die Binder, wie bereits erwähnt worden, beim Eintreten eines ungleichen Setzens der Mauer abbrechen, was in vielen Fällen wirklich geschieht. Es kommt aber auch vor, dafs die hintern Theile der Binder, die in das fremde Mauerwerk eingreifen, mit diesem gemeinschaftlich sich senken, und dadurch die Werksteinschichten an der äufsern Fläche heben, so dafs die Lagerfugen sich hier öffnen. Fig. 15 stellt diesen Fall dar. Es ereignet sich dieses vorzugsweise, wenn der Mörtel an sich schlecht war, oder äufsere Umstände und vielleicht starke Erschütterungen seine Cohäsion aufhoben. Emy empfiehlt, um diesem Uebelstande vorzubeugen, eine vollständige Unterstützung der hintern Theile der Binder durch Werkstücke, die ganz übereinstimmend mit denjenigen bearbeitet und versetzt sind, welche die Verkleidung bilden. Fig. 16 zeigt diese Anordnung *), die auch schon in der leichten Kaimauer Fig. 7 gewählt war. Es ist nicht zu bezweifeln, dafs die Mauer hierdurch verstärkt wird, denn wenn auch eine Trennung zwischen beiden Mauermassen noch erfolgen sollte, so ist die äufsere oder die Werksteinmauer in diesem Falle mit vollständigen Strebepfeilern versehn, und sie kann daher nicht so leicht einstürzen oder sich ausbauchen.

Ferner ist es nothwendig, dafs man den Werkstücken und zwar den Läufern ebensowohl wie den Bindern passende Dimensionen giebt, damit sie bei einer etwanigen ungleichmäfsigen Unterstützung, die sich nicht immer vermeiden läfst, nicht brechen. Hiernach mufs die Breite und noch mehr die Länge nicht unverhältnifsmäfsig grofs gegen die Höhe des Steines gewählt werden. Sganzin empfiehlt in dieser Hinsicht, den Werkstücken, wenn sie aus einer weichen Steinart bestehn, zur Länge nur die dreimalige und zur Breite nur die zweimalige Höhe zu geben, und selbst bei den festesten Steinen die Länge nie gröfser als die fünfmalige Höhe, und ebenso die Breite nie gröfser, als die dreimalige Höhe anzunehmen.

Der Grund, weshalb Werkstücke der Gefahr eines Bruches mehr ausgesetzt sind, als gebrannte Steine oder Bruchsteine, ist allein darin zu suchen, dafs bei ihnen die Fugen und namentlich die Lagerfugen weniger gleichmäfsig mit Mörtel angefüllt werden, als bei jenen. Dieses rührt theils daher, dafs ihre Gröfse ein leichtes

---

*) *Sganzin programme. II. p.* 288.

und sichres Manöver beim Versetzen unmöglich macht, zum Theil aber geschieht es auch, weil man gemeinhin eine ganz besondere Vorsicht anwendet und oft anwenden muſs, um ihnen eine bestimmte Höhenlage und Richtung zu geben. Der letzte Umstand wirkt häufig auf die Haltbarkeit von Werksteinmauern sehr nachtheilig ein, und ist Veranlassung, daſs man Methoden zum Versetzen wählt, die sich nur da rechtfertigen lassen, wo die Steine wenig belastet sind, oder ein Bruch nicht zu besorgen wäre, wenn auch die Unterstützung nur einen kleinen Theil der Grundfläche treffen sollte. Hierher gehört namentlich das Vergieſsen der Fugen. Man bringt nämlich den Stein, ehe man den Mörtel anwendet, schon in die Lage, die er erhalten soll, und unterstützt ihn dabei durch hölzerne oder auch wohl durch eiserne Keile. Um alsdann den Mörtel in die Fugen zu bringen, ohne den Stein zu entfernen, verstopft man rings die Lager- und Stoſsfugen mit Werg, und gieſst den dünnen Mörtel hinein. Ob die Fugen dabei vollständig gefüllt werden, ist nicht mit Sicherheit wahrzunehmen, jedenfalls ist aber der dünnflüssige Mörtel, den man hierbei anwenden muſs, einem besonders starken Schwinden beim Erhärten ausgesetzt, und wenn derselbe sich daher auch wirklich über die ganze Ausdehnung der Lagerfuge verbreitet, so trifft der Druck doch vorzugsweise immer nur die Punkte, die ursprünglich durch die Keile unterstützt waren. Wenn aber die Mauer höher heraufgeführt wird, und dadurch die Belastung zunimmt, so wird der Stein an denjenigen Stellen, wo er aufliegt, zerdrückt und es zeigen sich die Risse im Bau. Häufig giebt man den Steinen auch dadurch eine sehr ungleichmäſsige Unterstützung, daſs man sich bemüht, die Fugen von auſsen möglichst fein erscheinen zu lassen, weshalb man nicht die ganze tragende Fläche gleichmäſsig ebnet, vielmehr erstreckt sich die sorgfältige Bearbeitung nur 2 bis 4 Zolle weit von der äuſsern Fläche, und der ganze innere Theil ist roher gehalten, mitunter sogar absichtlich hohl gelassen, um zu verhindern, daſs hier keine Berührung stattfinde, weil dadurch der genaue Schluſs der äuſsern Fuge leiden könnte. Wenn unter diesen Umständen der Mörtel eingegossen wird, und derselbe auch wirklich die ganze Höhlung der Fuge in der Mitte des Steines füllen sollte, so wird doch nach dem Erhärten desselben wenigstens keine gleichmäſsige Vertheilung des Druckes eintreten können, und der Stein ist sonach der Gefahr ausgesetzt,

an der äufsern Kante zu brechen, denn hier besitzt er an sich die geringste Festigkeit und gleichzeitig wird er daselbst am stärksten gepreſst. Die vielen Risse, welche sich im Pantheon zu Paris zeigten, wurden allein durch diese Art des Versetzens der Steine veranlafst.

Passender ist ein anderes Verfahren, das besonders in Frankreich vielfach bei Wasserbauten Anwendung findet. Der Stein wird dabei auf hölzernen Keilen mit ziemlich weiten Fugen versetzt. Alsdann streicht man steifen hydraulischen Mörtel, mit einer 2 Fufs langen Kelle ein, die an beiden schmalen Seiten mit langen und grofsen Zähnen, wie eine grobe Holzsäge, versehn ist. Indem diese Zähne nach vorn gerichtet sind, so schieben sie den Mörtel vor sich in die Fuge hinein und man bemerkt sogar, wie derselbe auf der entgegengesetzten Seite herausquillt. Ist auf solche Art die Fuge vollständig gefüllt, so sucht man die Keile herauszuziehn, damit der Stein nur auf dem Mörtelbette ruht. Die erwähnte Kelle ist Fig 17 dargestellt.

Man mufs die Gleichmäfsigkeit der Unterstützung als den wichtigsten Zweck des Mörtels im Mauerwerk ansehn. Bei schlechteren Sorten der gebrannten Steine kann man häufig kaum 20 bis 30 Stück übereinander legen, ohne dafs die untern brechen, sobald aber die Fugen mit Mörtel gefüllt sind, ist das Gewicht von mehrern hundert Steinen nicht im Stande, die untern zu beschädigen. Die Cohäsion des Mörtels ist im Allgemeinen von geringerer Bedeutung, und seine Anwendung wird ziemlich zwecklos, wenn sie nicht in der Art erfolgt, dafs eine möglichst gleichmäfsige Unterstützung wirklich erreicht wird. Kann man letztere auf anderem Wege darstellen, so ist der Mörtel entbehrlich. Beispiele liefern manche Ruinen aus dem Alterthume und namentlich aus der römischen Kaiserzeit. So sind die Werkstücke im Amphitheater bei Trier mit der gröfsten Genauigkeit in den Lagerfugen und ebenso auch in den Stofsfugen abgeschliffen, und sie berühren sich so scharf, dafs die Fugen ganz geschlossen sind und kein Mörtel darin eingebracht werden durfte. In neuerer Zeit hat man zuweilen die Unebenheiten in der Oberfläche der Steine durch zwischengelegte Bleiplatten oder Bleikugeln auszufüllen gesucht. Diese Methode erscheint insofern passend, als das Blei unter dem Drucke ausweicht und sich in der Art vertheilt, dafs es wirklich eine gleichmäfsige Unter-

stützung an allen Punkten darstellt. Es kann sich aber auch ereignen, dafs es an einer Seite stärker herausgedrängt wird, als an der andern, wodurch die Fuge nicht gleiche Dicke behält und der obere Theil des Baues sich seitwärts neigt. Jedenfalls ist es als ein Uebelstand zu betrachten, dafs bei der spätern Zunahme des Druckes das Blei von Neuem in Bewegung kommt, und wahrscheinlich selbst unter constantem Drucke eine sehr lange Zeit gebraucht, bevor es sich vollständig ins Gleichgewicht gesetzt hat. Hiernach sind im Allgemeinen die Mörtelarten vorzuziehn, die in Kurzem erhärten und den darauf ruhenden Werkstücken eine unveränderte Lage sichern.

Die erwähnte gleichmäfsige Vertheilung des Druckes auf die ganze Basis des Steines läfst sich am vollständigsten erreichen, wenn man schon vor dem Versetzen das Mörtelbette in der Fuge darstellt. Dieses geschieht gewöhnlich, indem man zuerst den Stein auf sein Lager einpafst und durch untergesteckte Keile ihm diejenige Stellung giebt, die er erhalten soll. Alsdann hebt man ihn sorgfältig ab, ohne die Keile zu verrücken, und bereitet das Mörtelbette in derjenigen Höhe vor, welche durch die Keile bezeichnet ist. Eben so müssen die senkrechten Seitenflächen der daneben bereits versetzten Steine mit Mörtel bestrichen werden, um die Stofsfugen in gehöriger Stärke zu bilden. Endlich wird der Stein, nach dem er vorher vollständig gereinigt und an den betreffenden Seiten stark benetzt worden, in sein Lager gebracht. Dieses geschieht, indem man ihn entweder von der Seite herüberkantet, oder man setzt ihn durch ein Hebezeug sanft und regelmäfsig an seine Stelle. Das Letzte ist vorzuziehen, weil das Mörtelbette dabei am wenigsten in Unordnung kommt. Wie vorsichtig man indessen auch immer in der Bereitung des Mörtelbettes gewesen ist, so darf man doch nicht voraussetzen, dafs dieses sich gleich von selbst in allen Theilen an den Stein anschliefst, und es bleibt sonach immer vortheilhaft, dafs man noch eine Operation vornimmt, die mit dem Eindrücken der gebrannten Steine übereinkommt, wodurch eben die vollständige Umschliefsung mit Mörtel erreicht wird. Es läfst sich dieses bei Werkstücken gleichfalls bewirken, und es geschieht auch in der That nicht selten, doch ist es schwer, dabei noch immer ganz sicher die beabsichtigte Lage zu erhalten, oder man mufs sich darauf gefafst machen, dafs man vielleicht den Stein nochmals ab-

heben und das Mörtelbette verändern muſs. Am besten ist es, den Mörtel in einer etwas gröſsern Stärke aufzutragen, als die Keile bezeichnen, und nachdem der Stein versetzt ist und die Keile herausgenommen sind, durch hölzerne Schlägel oder durch Handrammen den Stein soweit herabzutreiben, bis die Fuge sich auf die beabsichtigte Stärke reducirt hat.

Wenn der Bau nur eine einfache Mauerfläche bilden soll, wie dieses bei Wasserbauwerken und namentlich bei Kaimauern der gewöhnliche Fall ist, so kommt es nicht darauf an, daſs die einzelnen Werkstücke eine vorher bestimmte Lage ganz genau einnehmen, und man kann sie in das Mörtelbette so weit eintreiben, bis der Mörtel reichlich von den Seiten herausquillt und sie recht fest darin gelagert sind. Alsdann ist die Anwendung der Keile überflüssig und es läſst sich ein regelmäſsiges Werk darstellen, wenn man die Steine auf der vordern oder äuſsern und ebenso auch auf ihrer obern Fläche erst nach dem Versetzen vollständig bearbeitet. Man darf in diesem Falle auf kleine Abweichungen von der äuſsern Flucht der Mauer und von der bestimmten Höhe der Steinschicht nicht Rücksicht nehmen, sobald aber mehrere Steine einer Schicht auf die beschriebene Art versetzt sind und eine feste und gehörig unterstützte Lage angenommen haben, so werden sie nachgearbeitet, indem man im Zusammenhange ihre äuſsere Fläche und ebenso auch die obere, worauf sich die Lagerfuge für die nächste Schicht bildet, ausebnet. Dieses Verfahren ist in neuerer Zeit in Frankreich für gröſsere Wasserbauwerke allgemein eingeführt*), und es ist nicht zu bezweifeln, daſs dadurch die Werkstücke eben so sicher versetzt werden können, wie gebrannte Steine oder kleinere lagerhafte Bruchsteine. Eine Verzapfung oder ein künstlicher Fugenschnitt ist alsdann eben so wenig erforderlich, wie eine Verankerung, um das Herausfallen der Steine zu verhindern. Man giebt dabei dem Mörtelbette eine Stärke von etwa 8 Linien, die sich beim Einrammen oder Einschlagen der Steine auf einen halben Zoll zu reduciren pflegt, man muſs aber die Schläge so führen, daſs auch die Stoſsfugen einigermaaſsen comprimirt werden.

Es ergiebt sich aus der vorstehenden Beschreibung, daſs das Versetzen der Werkstücke im Mörtelbette sich am sichersten aus-

*) *Sganzin programme I. p.* 114.

führen läfst, wenn die Steine möglichst frei liegen, und dafs es bei einer vollen Mauer mit gröfsern Schwierigkeiten verbunden ist, wo man die Lagerfuge nicht von mehreren Seiten beobachten kann. Hierdurch begründet es sich, dafs grofse Mauermassen keineswegs eine Tragfähigkeit besitzen, die ihrem Querschnitt entspricht, und sonach wird die Mauer auch nicht geschwächt, wenn man sie durch hohle Räume unterbricht, und eben dadurch die Gelegenheit herbeiführt, dafs jeder einzelne Stein mit aller Sorgfalt versetzt werden kann. Dieses Verfahren kommt bei Kaimauern nicht leicht vor, wo die grofse Masse nothwendig ist, damit der Seitendruck der Erde aufgehoben wird, dagegen hat man es bei andern Constructionen und namentlich bei der Uebermaurung und Hintermaurung der Brückenbogen, auch wohl bei Brückenpfeilern in der neusten Zeit in England vielfach angewendet. Vorzüglich war Telford bemüht, die grofsen Mauermassen zu vermeiden, und unter seinen Werken zeichnet sich in dieser Beziehung der Brückenkanal bei Pont-y-Cysylte aus, wo die 121 Fufs hohen Pfeiler nur aus einer 2 Fufs starken Schaale bestehn und im Innern hohl gelassen sind. Zur Darstellung eines guten Mauerwerks ist es nach Telford's Ansicht nothwendig, dafs nicht nur der Maurer, sondern auch der Bauaufseher die Fuge von allen Seiten genau untersuchen kann. Er fügt hinzu, dafs man nur diejenigen Steine als fest gebettet ansehn darf, bei denen diese scharfe Controlle möglich ist. Im Innern einer starken Mauermasse mufs hiervon natürlich abgesehn werden.

Wenn man die Werkstücke mittelst Brechstangen von der Seite auf das vorbereitete Mörtelbette hebt, oder sie durch Ueberkanten darauf bringt, so kann es nicht fehlen, dafs das Bette dadurch in Unordnung kommt, und aufserdem ist ein solches Verfahren auch mühsam, und wenn die Steine bereits vollständig bearbeitet sind, für diese leicht nachtheilig. Weit zweckmäfsiger ist es, die Steine mit einem Hebezeuge zu fassen und sie gleich in der Richtung und Lage, die sie behalten sollen, an ihre Stelle zu versetzen. Man vermeidet dadurch, dafs einzelne Theile des Bettes unverhältnifsmäfsig stark gepreſst werden und auf solche Art die nöthige Stärke verlieren, und überdiefs läfst sich die ganze Arbeit leichter und mit gröfserer Sorgfalt ausführen. Es sind hierbei zwei verschiedene Apparate zu betrachten, nämlich einmal die Vorrichtung zum Fassen des Steines, und sodann das eigentliche Hebezeug.

heben und das Mörtelbette verändern muſs. Am besten ist es, den Mörtel in einer etwas gröſsern Stärke aufzutragen, als die Keile bezeichnen, und nachdem der Stein versetzt ist und die Keile herausgenommen sind, durch hölzerne Schlägel oder durch Handrammen den Stein soweit herabzutreiben, bis die Fuge sich auf die beabsichtigte Stärke reducirt hat.

Wenn der Bau nur eine einfache Mauerfläche bilden soll, wie dieses bei Wasserbauwerken und namentlich bei Kaimauern der gewöhnliche Fall ist, so kommt es nicht darauf an, daſs die einzelnen Werkstücke eine vorher bestimmte Lage ganz genau einnehmen, und man kann sie in das Mörtelbette so weit eintreiben, bis der Mörtel reichlich von den Seiten herausquillt und sie recht fest darin gelagert sind. Alsdann ist die Anwendung der Keile überflüssig und es läſst sich ein regelmäſsiges Werk darstellen, wenn man die Steine auf der vordern oder äuſsern und ebenso auch auf ihrer obern Fläche erst nach dem Versetzen vollständig bearbeitet. Man darf in diesem Falle auf kleine Abweichungen von der äuſsern Flucht der Mauer und von der bestimmten Höhe der Steinschicht nicht Rücksicht nehmen, sobald aber mehrere Steine einer Schicht auf die beschriebene Art versetzt sind und eine feste und gehörig unterstützte Lage angenommen haben, so werden sie nachgearbeitet, indem man im Zusammenhange ihre äuſsere Fläche und ebenso auch die obere, worauf sich die Lagerfuge für die nächste Schicht bildet, ausebnet. Dieses Verfahren ist in neuerer Zeit in Frankreich für gröſsere Wasserbauwerke allgemein eingeführt*), und es ist nicht zu bezweifeln, daſs dadurch die Werkstücke eben so sicher versetzt werden können, wie gebrannte Steine oder kleinere lagerhafte Bruchsteine. Eine Verzapfung oder ein künstlicher Fugenschnitt ist alsdann eben so wenig erforderlich, wie eine Verankerung, um das Herausfallen der Steine zu verhindern. Man giebt dabei dem Mörtelbette eine Stärke von etwa 8 Linien, die sich beim Einrammen oder Einschlagen der Steine auf einen halben Zoll zu reduciren pflegt, man muſs aber die Schläge so führen, daſs auch die Stoſsfugen einigermaaſsen comprimirt werden.

Es ergiebt sich aus der vorstehenden Beschreibung, daſs das Versetzen der Werkstücke im Mörtelbette sich am sichersten aus-

*) *Sganzin programme I. p.* 114.

führen läfst, wenn die Steine möglichst frei liegen, und dafs es bei einer vollen Mauer mit gröfsern Schwierigkeiten verbunden ist, wo man die Lagerfuge nicht von mehreren Seiten beobachten kann. Hierdurch begründet es sich, dafs grofse Mauermassen keineswegs eine Tragfähigkeit besitzen, die ihrem Querschnitt entspricht, und sonach wird die Mauer auch nicht geschwächt, wenn man sie durch hohle Räume unterbricht, und eben dadurch die Gelegenheit herbeiführt, dafs jeder einzelne Stein mit aller Sorgfalt versetzt werden kann. Dieses Verfahren kommt bei Kaimauern nicht leicht vor, wo die grofse Masse nothwendig ist, damit der Seitendruck der Erde aufgehoben wird, dagegen hat man es bei andern Constructionen und namentlich bei der Uebermaurung und Hintermaurung der Brückenbogen, auch wohl bei Brückenpfeilern in der neusten Zeit in England vielfach angewendet. Vorzüglich war Telford bemüht, die grofsen Mauermassen zu vermeiden, und unter seinen Werken zeichnet sich in dieser Beziehung der Brückenkanal bei Pont-y-Cysylte aus, wo die 121 Fufs hohen Pfeiler nur aus einer 2 Fufs starken Schaale bestehn und im Innern hohl gelassen sind. Zur Darstellung eines guten Mauerwerks ist es nach Telford's Ansicht nothwendig, dafs nicht nur der Maurer, sondern auch der Bauaufseher die Fuge von allen Seiten genau untersuchen kann. Er fügt hinzu, dafs man nur diejenigen Steine als fest gebettet ansehn darf, bei denen diese scharfe Controlle möglich ist. Im Innern einer starken Mauermasse mufs hiervon natürlich abgesehn werden.

Wenn man die Werkstücke mittelst Brechstangen von der Seite auf das vorbereitete Mörtelbette hebt, oder sie durch Ueberkanten darauf bringt, so kann es nicht fehlen, dafs das Bette dadurch in Unordnung kommt, und aufserdem ist ein solches Verfahren auch mühsam, und wenn die Steine bereits vollständig bearbeitet sind, für diese leicht nachtheilig. Weit zweckmäfsiger ist es, die Steine mit einem Hebezeuge zu fassen und sie gleich in der Richtung und Lage, die sie behalten sollen, an ihre Stelle zu versetzen. Man vermeidet dadurch, dafs einzelne Theile des Bettes unverhältnifsmäfsig stark gepreſst werden und auf solche Art die nöthige Stärke verlieren, und überdiefs läfst sich die ganze Arbeit leichter und mit gröfserer Sorgfalt ausführen. Es sind hierbei zwei verschiedene Apparate zu betrachten, nämlich einmal die Vorrichtung zum Fassen des Steines, und sodann das eigentliche Hebezeug.

Jeder bearbeitete Baustein läfst sich durch Taue so fassen, dafs er in jeder beliebigen Richtung schwebt. Am einfachsten geschieht dieses durch die sogenannte Stroppe oder das Kranztau, welches in der Art umgeschlungen wird, wie Fig. 22 zeigt. Diese Vorrichtung ist es, womit Perronet die Werkstücke bei seinen Brückenbauten versetzen liefs. Beim Gebrauche derselben tritt indessen der Uebelstand ein, dafs der Stein auf dem Tau stehn bleibt, und man mufs ihn daher, nachdem er vom Hebezeuge gelöst ist, noch durch Brechstangen etwas lüften, damit das Tau herausgezogen werden kann. Vortheilhafter sind andre Apparate, mittelst deren man die ganze Operation mit dem Hebezeuge vollenden und den Stein ohne weitere Nachhülfe unmittelbar auf das Mörtelbette versetzen kann. Dieses geschieht zum Theil schon mittelst Zangen, doch wird dabei vorausgesetzt, dafs zwei gegenüberstehende Seitenflächen des Steines freibleiben müssen, was nicht immer der Fall ist. Ueberdiefs ist die Zange bei grofsen Steinen wegen ihres eignen Gewichtes sehr unbequem und wird daher gewöhnlich nur zum Heben von rohen Steinen, wie solche etwa bei Steinschüttungen vorkommen, gebraucht. Aus diesem Grunde wird ihre Beschreibung erst später die passende Stelle finden. Zum Versetzen von Werkstücken eignet sich dagegen ganz besonders die Steinklaue, auch der Wolf genannt. Dieselbe faſst den Stein nur in seiner obern Fläche, und giebt daher Gelegenheit, ihn nicht nur unmittelbar auf sein Lager sondern sogar zwischen andre Steine zu versetzen, selbst wenn solche rings umher bereits aufgebracht sein sollten. Damit die Klaue aber den Stein sicher faſst und derselbe diejenige Lage annimmt, worin er versetzt werden soll, so mufs sie an der passenden Stelle angebracht sein, denn der Stein wird immer so schweben, dafs die Verbindungslinie zwischen dem Aufhängepunkte und dem Schwerpunkte die Richtung des Lothes darstellt. Häufig und namentlich bei grofsen Steinen wendet man gleichzeitig mehrere Steinklauen an, hat man drei derselben, so ist es leicht, die passende Neigung dem Steine zu geben, und man hat nur dafür zu sorgen, dafs der Schwerpunkt des Steines zwischen die drei Aufhängepunkte trifft. Die Löcher, in welche die Steinklaue eingreift, sind bei kleinen Steinen nur wenige Zolle tief, bei schweren und bei spröden Steinen mufs man ihnen aber die Tiefe von 6 bis 9 Zoll geben, weil sonst die Ränder zu leicht abbrechen. Die schrägen Flächen in dem Loche, wo-

gegen die Backen der Klaue sich lehnen, müssen aus demselben Grunde möglichst eben oder cylindrisch geformt sein, jenachdem die Klaue ebene oder cylindrische Backenstücke hat. Finden sich dabei Unebenheiten vor, oder ist der Stein sehr spröde, so läfst sich das Ausspringen noch dadurch vermeiden, dafs man, nachdem die Klaue eingesetzt ist, feinen und zwar ganz trocknen Sand hineinstreut, wodurch alle Zwischenräume angefüllt werden, so dafs nunmehr die vollen Flächen zum Tragen kommen.

Fig. 18 zeigt eine Steinklaue, die man nicht selten anwendet. Sie besteht aus zwei keilförmigen Eisenstücken. Das erste, welches an der Kette hängt, hat unten eine gröfsere Breite, als oben, das zweite dagegen, der Schlüssel genannt, verjüngt sich etwas nach unten, damit es fest herabgeschoben werden kann, nachdem ersteres eingestellt ist. Wird die Kette alsdann vertikal angezogen, so lehnt sich der Keil scharf gegen die schräge Fläche des Loches, und der Stein wird auf diese Art gehoben. Ist der Stein aber auf der passenden Stelle versetzt worden, so darf man nur den Schlüssel herausziehen, alsdann läfst sich auch der Keil leicht entfernen. Mittelst dieser Klaue versetzte Telford bei dem Hafendamme von Inverness die Werkstücke unter Wasser, und indem an dem Schlüssel eine Leine befestigt war, wie die Figur zeigt, so wurde es möglich, den Keil von oben zu lösen. *)

Sehr ähnlich ist die in Fig. 19 dargestellte Steinklaue. Diese wird noch häufiger als jene angewendet, und verdient vor ihr auch insofern den Vorzug, als der Druck sich gleichmäfsiger auf beide gegenüberstehende schräge Flächen des Loches vertheilt. Ihre Zusammensetzung geht aus der Zeichnung hervor: *a* zeigt sie in Verbindung mit dem Bügel von der Seite, *b* von vorn, *c* ist die vordere Ansicht eines der beiden Keile oder Backenstücke und *d* die des Schlüssels, der zwischen beide Keile gesteckt wird. Nachdem diese drei Theile eingestellt sind, legt man den Bügel darüber, woran die Kette des Hebezeuges befestigt wird, und endlich verbindet man Alles mit einem Durchsteckbolzen, welcher der Sicherheit wegen noch mit einem Splint versehn wird.

Fig. 21 zeigt eine in England übliche Steinklaue. Sie besteht aus zwei Armen, die oft durch eine Achse zu einer vollständigen

---

*) *Theory, practice and architecture of Bridges.* Heft IV. *p.* 18.

Schere verbunden sind, oder sie werden, wie hier angegeben ist, nur lose nebeneinander eingestellt. Sobald man die obern Arme zusammenbringt, und die Schleife am Tau des Hebezeuges anzieht, so können die untern Arme sich aus dem Loche im Steine nicht lösen und letzterer wird daran gehoben. Hiermit stimmt auch im Wesentlichen die Fig. 20 gezeichnete Klaue überein, welche J. Neville angegeben hat. Die beiden Arme sind hier bogenförmig gestaltet, und indem sie durch den Steg gezogen sind, den Fig. 20 *d* in der Ansicht von oben zeigt, so werden sie im obern Theile während des Zuges zusammengedrückt, und sonach pressen sie unten seitwärts gegen den Stein wie Fig. *b* zeigt. Sobald man aber den Bügel zurückschlägt und den einen Arm an der daran befestigten Leine heraufzieht, wie in Fig. *c*, so wird die Klaue frei. Auf solche Art soll man damit auch unter Wasser Steine versetzen können. *)

Bei Anwendung aller hier beschriebenen Steinklauen ist man gezwungen, in der Oberfläche des Steines das Loch zum Einsetzen derselben in bestimmter Form einzuhauen. Dieser Umstand ist in Bezug auf die Festigkeit des Mauerwerks ohne Nachtheil, indem die tragenden Flächen dabei nur unmerklich verkleinert werden. Dieses Loch gewährt auch noch den Vortheil, dafs man fliegende leichte Gerüste zum Ausfugen oder zum Nacharbeiten der äufsern Mauerfläche mit Leichtigkeit und voller Sicherheit befestigen kann. Fig. 49 Taf. VI zeigt die Anordnung, die zu diesem Zweck beim Bau der Kaimauer am Mersey unterhalb Liverpool getroffen war. Ein starker eiserner Dorn, etwa einen Fufs lang und oben mit einem Querarme versehn, den man bei *a* von vorn sieht, wird in das Loch der Steinklaue eingesetzt und mit Holzkeilen gesichert, und hieran befestigt man die Taue oder Ketten des fliegenden Gerüstes.

In der obern Steinschicht oder der Deckschicht mag man indessen des bessern Ansehns wegen die Löcher vermeiden, die, wenn sie auch mit Mörtel gefüllt werden, sich doch immer unangenehm zu erkennen geben. Zu diesem Zwecke werden die hierzu bestimmten Steine in der Art bearbeitet und gehoben, wie Fig. 50 zeigt. Es werden nämlich an denjenigen gegenüberstehenden Seiten des Steines, welche quer gegen die Richtung der Mauer treffen, prisma-

---

*) *The civil Engineer and Architect's Journal.* 1840. *p.* 273.

tische Nischen, deren Basis ein gleichschenkliges rechtwinkliges Dreieck bildet, eingehauen. Etwa 2 Zoll über ihrem Boden, und jedenfalls nicht unter dem Schwerpunkte des Steines, wird in der Längenrichtung der Mauer ein Loch von 1 oder 1½ Zoll Durchmesser gebohrt und in dieses ein passender Bolzen gesteckt. Die Kette, womit der Stein gehoben wird, spaltet sich in zwei Theile, die an ihren Enden mit passenden Ringen versehn sind. Wenn letztere auf die vorstehenden Enden der Bolzen gezogen werden, so läfst sich der Stein bequem heben und dicht schliefsend gegen andre Steine versetzen. Die nächsten Steine müssen aber mit gleichen Nischen versehn sein, die sich gegenseitig zu quadratischen Räumen ergänzen. Hierdurch wird es möglich, die erwähnten Bolzen wieder herauszunehmen, und ein Steinwürfel von 8 bis 10 Zoll Seite, der gemeinhin von etwas dunkler Farbe ist, wird als Dübel in die Oeffnung versetzt und bildet auf diese Art noch einen Verband zwischen den einzelnen Steinen, wie Fig. 51 zeigt.

Zum Heben und Versetzen der Steine kann man sich in vielen Fällen mit Vortheil des dreibeinigen Bockes bedienen, der bei Gelegenheit der Senkbrunnen im ersten Theile §. 8 beschrieben und auf Taf. I. Fig. 7 gezeichnet ist. Es tritt dabei freilich die Schwierigkeit ein, dafs der Aufhängepunkt sich nicht horizontal verstellen läfst und man dem Steine die nöthige Seitenbewegung auf andre Art, also etwa durch Anziehn eines Taues ertheilen mufs. Nichts desto weniger hat diese Vorrichtung den Vorzug einer grofsen Einfachheit, und man wird sie mit Vortheil benutzen, wenn die Operation nicht häufig vorkommt und sonach die Anschaffung von Krahnen sich nicht rechtfertigen würde. Es verdient hier bemerkt zu werden, dafs man die Wirksamkeit eines Flaschenzuges durch die Verbindung mit einem dritten und zwar einem einscheibigen Blocke verdoppeln kann, und dabei noch den Vortheil erreicht, dafs man weniger Tauwerk braucht. Diese Verbindung, welche auf den Seeschiffen häufig vorkommt, und der Mantel genannt wird, ist Fig. 22 dargestellt. Sie bedarf keiner nähern Beschreibung, und man überzeugt sich leicht, dafs das Verhältnifs zwischen Zug und Last sich so herausstellt, als wenn man einen Flaschenzug angewendet hätte, bei dem die Anzahl der Scheiben noch einmal so grofs wäre.

Der zweibeinige Bock wird häufig zum Heben von Lasten

benutzt und nicht selten bedient man sich desselben auch zum Versetzen von Werkstücken. Indem die zwei Bäume mit einander fest verbunden sind, so läfst sich die Winde-Vorrichtung daran bequem anbringen. Sie besteht gewöhnlich nur in einer einfachen Welle, die durch eingesteckte Hebel oder sogenannte Handspaken gedreht wird, wie Fig. 25 zeigt Die Hebel dienen dabei zugleich als Sperrhaken, indem man sie gegen den Riegel oberhalb der Winde lehnt. Die Scheibe, über welche das Tau läuft, ist zwischen beide Bäume eingelassen. Die untern Enden der Bäume, welche den Fufs des Bockes bilden, sind mit eisernen Spitzen versehn, damit sie bei dem schrägen Stande nicht gleiten, und gewöhnlich stellt man sie auf eine starke Bohle um das Einsinken in den Boden zu verhindern. Der Bock mufs indessen noch in andrer Art unterstützt werden, weil er sonst umfallen würde. Hierzu kann ein einfacher Baum benutzt werden, wodurch der Apparat sich wieder in einen dreibeinigen Bock verwandelt, oder man lehnt auch, wie beim Bau der Brücke zu Moulins geschah, zwei zweibeinige Böcke mit ihren Köpfen gegen einander, in welchem Falle beide Winde-Vorrichtungen zum Heben derselben Last benutzt werden können. Am häufigsten wird jedoch das in der Figur angegebene Kopftau benutzt. Durch dasselbe gewinnt man noch Gelegenheit, die gehobene Last etwas vor, und zurück zu bewegen, und in weiterer Ausdehnung wird dieses möglich, wenn man noch ein zweites Kopftau an der andern Seite anbringt. Durch entsprechendes Anziehn und Nachlassen dieser Taue kann der Bock nach beiden Seiten geneigt und dadurch der Weg, den die daran hängende Last in horizontaler Richtung beschreibt, bedeutend verlängert werden.

Wenn etwa bei Ausführung einer Mauer der Bock nach und nach in einer geraden Linie verstellt werden soll, so versieht man jene Bohle oder Schwelle mit einer Eisenbahn-Schiene, und die beiden Füfse des Bockes mit gufseisernen Rädern. Sehr wichtig ist die Anwendung des Bockes beim Schiffsbau, und besonders dient er zum Einsetzen der Massen, wie zum Aus- und Einheben der Kessel und Dampfmaschinen. Wegen seiner Einfachheit und Wohlfeilheit, wenn alle Theile, aus denen er besteht, schon behufs anderweiter Benutzung vorräthig sind, eignet er sich auch vorzugsweise zum Ausheben sehr grofser Lasten aus den Schiffen. Namentlich gilt dieses von Locomotiven, die aus Englischen Fabriken in ihrer vollen

Zusammenstellung versandt werden. In Pillau wurden solche mittelst eines provisorischen Bockes unmittelbar auf die Eisenbahn gebracht, während sie bei Stettin vor den grofsen Schiffsbauwerften gehoben und alsdann in einen mit Geleise versehenen Prahm niedergelassen wurden, den man alsdann an einen hierzu eingerichteten Nebenstrang der Bahn brachte, auf welchen sie übergeführt werden konnten. Wo indessen vielfach Gelegenheit zum Aus- und Einbringen grofser Lasten sich wiederholt, wie in Southampton, auch in Bremerhaven, da stellt man nicht nur den Bock selbst, sondern auch die Vorrichtung zum Befestigen der Kopfkette oder der entsprechenden Zugstange auf einen grofsen Wagen, der dem Ufer genähert oder davon entfernt werden kann, und eine Dampfmaschine, die gleichfalls sich darauf befindet, hebt nicht nur die Last, sondern stellt den Bock auch steiler oder flacher und bewegt aufserdem den ganzen Wagen hin und her.

Eine andre sehr brauchbare und zugleich einfache Vorrichtung zum Heben und Versetzen von Werkstücken und andern schweren Gütern ist der Ladebaum. Derselbe besteht wie Fig. 23 zeigt aus einem schrägen Baume, dessen Fufs mit einem Charnier versehn ist, so dafs die Neigung beliebig geändert werden kann, während das Charnier selbst mit einen vertikalen Zapfen verbunden ist, der in einer Pfanne steht. Zur Vereinfachung der Einrichtung wird indessen vielfach das untere Ende des Baumes nur nach einer Halbkugel abgerundet und in eine entsprechende Höhlung eines Pfahles gestellt, oder wie namentlich auf Schiffen nicht selten geschieht, man verbindet nur durch ein Tau den Ladebaum mit dem Maste, wobei ersterer sowohl angehoben, wie gedreht werden kann. Das obere Ende des Baumes wird durch einen Flaschenzug mit einer gehörig befestigten senkrechten Säule, also auf Schiffen mit dem Mastbaum, verbunden und ein zweiter Flaschenzug am Ladebaume dient zum Heben der Last. Hängt letztere am Baume, so läfst sie sich mit geringer Kraft im Kreise um die Säule drehn, aufserdem kann man sie derselben auch nähern, oder von ihr entfernen, doch ändert sich dabei sehr bedeutend ihre Höhe, und es ist also entweder hierzu eine gröfsere Kraft erforderlich, oder man mufs, wenn der radiale Abstand sich vergröfsern soll, die Last vorher schon höher gehoben haben, als an sich nöthig gewesen wäre. Für die sichere Befestigung der Säule, die einem starken Seitendruck aus-

gesetzt ist, muſs jedenfalls gesorgt werden. Wenn der Ladebaum nur vorübergehend benutzt und bald wieder entfernt werden soll, so pflegt man ihn durch Kopftaue zu halten, steht dagegen seine längere Verwendung in Aussicht, so wird er durch Streben aus Holz, wie die Figur zeigt, oder auch wohl durch Eisenstangen, unterstützt. Bei Anwendung des Holzes tritt noch der Vortheil ein, daſs dasselbe nicht nur dem Zuge, sondern auch dem Druck widersteht, und sonach der Ladebaum soweit gedreht werden kann, daſs letzterer eintritt, während bei Tauen oder Ketten und Eisenstangen, die Bewegung des Ladebaums nicht weiter ausgedehnt werden darf, als die Säule durch die Spannung dieser Theile sicher gehalten wird.

So lange nur der Flaschenzug zum Heben der Lasten benutzt wird, so dürfen diese kein bedeutendes Gewicht haben. Man kann den Ladebaum aber auch mit andern mechanischen Vorrichtungen verbinden und zwar geschieht dieses am einfachsten, wenn man an den Fuſs desselben eine Winde mit Rad und Getriebe befestigt, die also an seinen Bewegungen immer Theil nimmt, und das Zugtau stets normal gegen die Winde richtet. In diesem Falle kann aber auch nur an der Kurbel die Kraftäuſserung erfolgen. Will man eine wirksamere Maschine, wie etwa die Erdwinde dabei benutzen, so verursacht die Ueberführung des Taues wegen der verschiedenen Stellungen des Ladebaumes einige Schwierigkeiten. Auf Englischen Baustellen bemerkte ich wiederholentlich, wie man diese sehr einfach, aber freilich auch ziemlich unvollkommen überwunden hatte. Fig 52 auf Taf. VI zeigt die hier gewählte Anordnung. Die Säule war mit ihrem Fuſs im Erdboden versenkt und wurde am Kopfe durch zwei Ketten gehalten. Unten befand sich an ihr ein starker aufwärtsgekehrter Zapfen in welchen der Schuh am Fuſse des Ladebaums eingriff. Dieser trug oben eine Scheibe, und das Tau war von derselben über eine zweite Scheibe an der Seite der Säule geführt. Diese beiden Scheiben befanden sich, wie doch Bedingung ist, nur bei einer gewissen Stellung des Ladebaums in derselben Ebne, sobald daher der letztere seitwärts gedreht wurde, würde das Tau von der untern Scheibe abgefallen sein. Dieses hatte man aber durch einen seitwärts angebrachten Klotz oder durch eine weit vortretende Backe verhindert. Gegen diese lehnte sich das Tau und schliff stark dagegen, wenn der Ladebaum beim Senken der

Last stark seitwärts gedreht wurde. Indem die alsdann eintretende bedeutende Reibung nur das Bremsen etwas erleichterte, so beschränkte sich der Uebelstand allein auf die stärkere Abnutzung des Taues.

Einen in eigenthümlicher Weise veränderten Ladebaum benutzte Stevenson beim Bau des Leuchtthurmes auf Bell-Rock. Derselbe unterscheidet sich, wie Fig. 24 zeigt, von den sonstigen dadurch, dafs die Kette, welche die Last hebt, nicht längs des Ladebaumes herabgeführt, sondern von dem Kopfe des letztern über eine Zwischenscheibe nach einer dritten Scheibe am Kopfe der Drehsäule gezogen ist. Von hier geht sie nach der Winde, die gleichfalls an der Drehsäule befestigt ist. Stevenson *) rühmt diese Vorrichtung, die er einen Krahn mit beweglichem Ladebaum nennt, als sehr bequem, um damit an jede Stelle das gehobene Werkstück herablassen zu können. Diese Eigenschaft besitzt indessen auch der Fig. 23 dargestellte gewöhnliche Ladebaum, der sich nicht nur drehn, sondern auch beliebig heben und senken läfst, und aus der ausführlichen Beschreibung läfst sich nicht entnehmen, zu welchem Zweck die Zwischenscheibe angebracht ist. Diese gewährt indessen, wenn man andere Längen-Verhältnisse wählt, als die von Stevenson mitgetheilte Zeichnung angiebt, den sehr wesentlichen Vortheil, dafs man die Last in radialer Richtung nahe auf die ganze Länge des Ladebaums bewegen kann, ohne dafs sie sich merklich hebt oder senkt. Diese Eigenschaft ist für die Technik so wichtig, dafs eine näherere Untersuchung hierüber sich rechtfertigen wird.

In Fig. 58 auf Taf. VII bezeichne C die Achse, durch welche der Ladebaum BC mit der Drehsäule AC verbunden ist. Die durch die Mittelpunkte der Scheiben gezogenen Linien AC und BC schliefsen den variabeln Winkel φ ein. Die Linie AC ist aber lothrecht. Die Abstände der Achsen beider Scheiben A und B von der Achse C sind gleich grofs und zwar gleich Eins, wogegen der Abstand der Scheiben-Achse D von C gleich n ist. Endlich wird angenommen, dafs die drei Scheiben gleiche Gröfse haben, ihre Halbmesser seien gleich r. Die wirklichen Werthe von n und r erhält man also, wenn man sie mit den in Fufsen gemessenen Längen AC oder BC multiplicirt.

*) *An Account of the Bell-Rock light-house by Robert Stevenson. Edinburgh.* 1824. *pag.* 243. *und* 515.

Indem die Zugkette zu beiden Seiten der Scheibe D gleiche Spannung hat, auch die Scheiben A und B ganz symmetrisch angeordnet sind, aufserdem aber angenommen werden darf, dafs das Gewicht der Kette und der Scheibe D sehr geringe gegen die an der Kette hängende Last ist, so ergiebt sich, dafs der Winkel φ durch die Linie CD halbirt wird.

Es kommt nun darauf an die Länge l der Kette vom Scheitel der Rolle ab, über die Scheiben D und B fort bis zu dem durch die Achse C gezogenen Horizont CE zu finden. Die Entwickelung des betreffenden Ausdrucks bietet keine Schwierigkeit, es genügt daher, die analystischen Ausdrücke für die Zahlenrechnung anzuführen. Zunächst wird ein Hülfswinkel ν eingeführt, der sich so bestimmt, dafs

$$tgt\ \nu = \frac{n-1}{n+1} \,.\, Cotg\ \frac{1}{4}\ \varphi$$

dann hat man

$$\delta = 90^0 - \frac{1}{4}\ \varphi + \nu$$

$$\beta = 90^0 - \frac{1}{4}\ \varphi - \nu$$

$$c = \frac{Sin\ \frac{1}{2}\ \varphi}{Sin\ \delta} \,.\, = \frac{n\ Sin\ \frac{1}{2}\ \varphi}{Sin\ \beta}$$

c ist nichts andres, als die dritte Seite des Dreiecks oder der Abstand der Scheiben-Achsen D und B von einander. In diesem Dreieck ist δ der Winkel bei D und β derjenige bei B.

Bezeichnet man mit α den Winkel, den die gefundene Dreiecks-Seite mit der Linie macht, die normal gegen die Richtung der Kette zwischen D und B gezogen ist, so hat man

$$Cos\ \alpha = \frac{2\ \nu}{c}$$

und

$$m = c \,.\, Sin\ \alpha$$

Die Gröfse m ist aber die Länge der Kette zwischen den Scheiben D und B, bis zu den Punkten, wo sie sich auf letztere auflegt. Um diejenigen Längen zu finden, die auf den Scheiben liegen, braucht man die Winkel

$$\psi = \delta - \alpha$$

und

$$w = \psi - \frac{1}{2}\ \varphi$$

Die Verhältnisse in Bezug auf die Scheibe A sind genau dieselben,

die für B gefunden wurden, und es bleibt daher nur noch übrig, die Kette jenseits der Verlängerung der Linie CB zu verfolgen. Die Kette liegt auf der Scheibe in einem Bogen, der zum Winkel $90^0 - \varphi$ gehört, und der von hier frei herabhängende Theil ist gleich $Cos\ \varphi$.

Es ergiebt sich hiernach

$$l = 2\,m + 4\,r\,(\psi + 0{,}39270) + Cos\ \varphi$$

In diesem Ausdruck mufs der Winkel ψ in den Bogen verwandelt werden, der hinzukommende Zahlenwerth ist aber gleich $\frac{1}{8}\,\pi$.

Die Länge des Ladebaums wird dem beabsichtigten Zwecke entsprechend bestimmt. Aufserdem entscheidet man sich für eine bestimmte Gröfse der Scheiben, doch mufs bemerkt werden, dafs die vorliegende Aufgabe um so schärfer gelöst wird, je kleiner man die Scheiben annimmt. r ist aber nicht sowol der Halbmesser der Scheibe selbst, als vielmehr der darüber gezogenen Kette. Auch darf r nicht etwa in Zollen ausgedrückt werden, vielmehr in der eingeführten Einheit, nämlich in Theilen der Länge des Ladebaums.

Die Gröfse n ist unbekannt, läfst sich auch direct nicht finden, es bleibt nur übrig, durch einige Versuche sie so darzustellen, dafs für zwei passend gewählte Werthe für φ die Länge l gleich grofs wird. Man wählt also zwei Abstände von der Säule, innerhalb deren die Lasten bewegt werden sollen, bestimmt die zugehörigen Winkel φ und führt willkührlich einen Werth für n ein. Ergiebt sich dabei, dafs l für das gröfsere φ kleiner ist, als für das kleinere, so mufs man n etwas vergröfsern, im umgekehrten Falle dagegen verkleinern. Aus zwei solchen Versuchen ersieht man schon, wie grofs die entsprechenden Aenderungen sind, und wenn man den daraus abgeleiteten Werth von n nochmals versucht, so läfst sich die schliefsliche Berichtigung mit hinreichender Schärfe ausführen oder der gesuchte Werth von n finden.

Nimmt man beispielsweise an, die Linien AC und BC, beide von den Mittelpunkten der Scheiben an gemessen, seien 30 Fufs lang, die Radien der Scheiben bis zu der Kettenwindung dagegen 6 Zoll, so ist

$$r = \frac{1}{60}$$

Führt man demnächst die Bedingung ein, dafs für $\varphi = 20^0$ und für $\varphi = 45^0$ gleiche Werthe von l sich herausstellen sollen, so ergiebt sich

$$n = 0{,}75314$$

oder der Abstand der Achse der Zwischenscheibe von der Drehungs-Achse des Ladebaumes ist gleich 22,594 Fufs anzunehmen.

Berechnet man hiernach für verschiedene Winkel φ die zugehörigen Längen l und vergleicht dieselben mit derjenigen, die zu den zum Grunde gelegten Winkeln gehört, so ergeben sich die nachstehenden Abweichungen, um welche die Last bei der Hebung oder Senkung des Ladebaums sich hebt oder senkt. Die letzte Spalte bezeichnet noch die horizontalen Abstände von der Säule, und zwar in Fufsen ausgedrückt.

Winkel φ	Hebung	Abstand
0^0	+ 3,94 Zoll	0 Fufs
5^0	+ 2,06 „	3,12 „
10^0	+ 0,12 „	5,71 „
15^0	— 0,41 „	8,26 „
20^0	0,00 „	10,76 „
25^0	+ 0,83 „	13,18 „
30^0	+ 1,59 „	15,50 „
35^0	+ 1,87 „	17,71 „
40^0	+ 1,42 „	19,78 „
45^0	0,00 „	21,71 „
50^0	— 2,45 „	23,48 „
55^0	— 6,00 „	25,08 „
60^0	— 10,58 „	26,48 „

Man kann daher mittelst dieser Anordnung die gehobenen Lasten nahe um 20 Fufs der Säule nähern oder davon entfernen, ohne dafs sie sich mehr als 2 Zoll heben oder senken, diese Abweichungen sind aber so geringe, dafs sie beim Versetzen von Steinen nicht störend sein werden. Dabei darf jedoch nicht unbemerkt bleiben, dafs jedesmal eine gewisse neue Kraft erforderlich wird, so oft der Ladebaum steiler gerichtet werden soll. Hierzu dient eine zweite Winde-Vorrichtung, die (Fig. 24) eine Kette anzieht, welche über eine zweite Scheibe am obern Ende der Säule gezogen, den Kopf des Ladebaums faſst. In sofern aber der Ladebaum nur seiner Länge nach gedrückt, also nur seine rückwirkende Festigkeit in Anspruch genommen wird, so braucht sein Gewicht vergleichungsweise gegen

die zu hebenden Lasten ziemlich geringe gehalten zu werden. Endlich ist aber noch darauf aufmerksam zu machen, dafs derselbe, wenn er ziemlich steil gestellt und zugleich belastet ist, beim Nachlassen der zweiten Kette nicht von selbst herabsinkt, sondern noch durch eine besondere Leine oder eine sonstige Vorrichtung herabgezogen werden mufs. *)

Der Krahn unterscheidet sich von den bisher beschriebenen Hebemaschinen dadurch, dafs der Seitenarm, an welchem die Last hängt, mit der Drehsäule fest verbunden ist. Dieser Arm, der entweder horizontal oder schräge aufwärts gerichtet ist, heifst der Ausleger. Die Winde-Vorrichtung, die in früherer Zeit häufig in einem oder zwei Laufrädern bestand, ist gewöhnlich so angebracht, dafs sie an der Bewegung des Auslegers Theil nimmt, also das Tau oder die Kette immer normal die Winde trifft, zuweilen geschieht dieses jedoch nicht und alsdann kommt es darauf an, die Kette in der Drehungs-Achse selbst von der Rolle im Ausleger auf eine andre Rolle übergehn zu lassen, die an jener Drehung nicht Theil nimmt, und sie stets in gleicher Richtung der Winde zuführt. Dieses wird möglich, wenn die Zapfen, welche die Drehungs-Achse bilden, gekröpft sind, und vor die innere Seite der Säule so weit vortreten, dafs hier die Kette herabgeführt werden kann, ohne bei der Drehung des Auslegers von diesem berührt zu werden. Dieselbe Aufgabe läfst sich auch annähernd lösen, wenn man die Kette nicht lothrecht herabzieht, sondern sie nur in der Drehungs-Achse zwischen zwei horizontalen Scheiben hindurchtreten läfst, wie Fig. 53*a* und *c* in der nach dem Punkte *A* geführten Kette zeigen.

Der zuletzt erwähnte Krahn, der vielfach zum Löschen und Beladen der Schiffe benutzt wird, hat vor andern den wesentlichen Vorzug, dafs in einigem Abstande von der Drehsäule der Ausleger noch durch ein gufseisernes Rad unterstützt wird, welches auf einer kreisförmigen Eisenbahn läuft, die in die Deckplatten der Kaimauern eingelassen ist. Sobald der Krahn nicht benutzt wird, sperrt er nicht den Verkehr auf dem Kai, dieses geschieht vielmehr

---

*) Die ausführliche Erörterung dieser bisher nicht gehörig gewürdigten Maschine wird sich dadurch rechtfertigen, dafs dieselbe in ihrer einfachsten Zusammensetzung auf jeder Baustelle durch gewöhnliche Handwerker eingerichtet werden kann.

nur während der Zeit, dafs die Last in das Schiff niedergelassen oder aus demselben gehoben wird. Die Säule steht in einer Pfanne, die in angemefsner Tiefe in die Kaimauer versenkt ist, und wird überdiefs durch ein Halsband oder eine starke gufseiserne Platte umfafst, die in der Höhe der Deckplatten durch starke Anker gehalten wird. Die bereits erwähnte Einrichtung, wonach die Kette in der Drehungs-Achse zwischen zwei Scheiben hindurchgeführt ist, hatte man beim Hafenbau in Sunderland gewählt, um die grofse Anzahl von Werkstücken, die zu Wasser beigeführt wurden, durch die daneben stehende Dampfmaschine aus den Schiffen ausheben zu können.

Man hat vielfach noch die Abänderung getroffen, dafs der Aufhängepunkt oder die Scheibe nicht unveränderlich fest am Ausleger angebracht ist, sondern sich gleichfalls verstellen läfst. Auf solche Art ist man ebenso, wie bei den Ladebäumen (Fig. 23 und 24), auch mittelst des Krahns im Stande, innerhalb der durch den Ausleger umfafsten Fläche jeden einzelnen Punkt zu treffen. Einige dieser Vorrichtungen, die namentlich beim Versetzen von Werkstücken benutzt sind, mögen hier noch beschrieben werden.

Fig. 26 zeigt den transportabeln Krahn mit zwei Auslegern, dessen sich Telford beim Bau des Hafendammes zu Aberdeen bediente.*) Die Zusammensetzung desselben ergiebt sich aus den Figuren; *a* ist die Ansicht von vorn, *b* von der Seite und *c* von oben. Er ruht auf vier kleinen Rädern, die theils unter der vordern und theils unter der hintern Schwelle angebracht sind, und welche auf hölzernen Unterlagen sich bewegen, so dafs der Krahn verschoben werden kann. An beiden Seiten befinden sich Eisenbahnen, die beiden Auslegern die Werkstücke zuführen, womit der Hafendamm verkleidet wurde. Im Innern bestand der Damm aus rohen Steinen, welche von den Schiffen aus aufgebracht wurden. Senkrecht stehende Ständer sind bei diesem Krahn mit den Auslegern verbunden, und an denselben befindet sich das Rad nebst Getriebe und der ganzen Windevorrichtung, womit die Steine von den Eisenbahnwagen gehoben und auf der passenden Stelle herabgelassen werden. Die Windevorrichtung nebst der Kette ist, um die einzelnen Theile deutlicher zu zeigen, nur an dem einen Aus-

*) *Life of Telford. p.* 131

leger dargestellt. Dabei mufs aber besonders auf die Befestigung der Scheibe am Ausleger aufmerksam gemacht werden. Telford beschreibt dieselbe nicht näher, doch ergiebt sie sich ziemlich klar aus den Zeichnungen. Diese Scheibe läuft nämlich nicht in Pfannen, die unmittelbar am Ausleger befestigt sind, vielmehr sind dieselben auf einer gufseisernen Platte angebracht, welche auf der geneigten Oberfläche des Auslegers ruht, und daher ohne sonstige Unterstützung von selbst nach der verticalen Drehungsachse rollen würde. Um dieses zu verhindern, und um die Scheiben an eine bestimmte Stelle zu bringen, dient eine zweite feste Rolle am Ende des Auslegers. Um die letzte ist ein Tau geschlungen, welches die erwähnte gufseiserne Platte mit der ersten Scheibe hält, das andre Ende des Taues ist herabgezogen, so dafs man es am Fufs der Drehungsachse befestigen und willkührlich anziehn oder nachlassen kann. Endlich ist noch die Belastung des hintern Theiles des Krahnes zu erwähnen, wodurch ein Umfallen desselben, wenn schwere Steine im Ausleger hängen, verhindert wird. Bei diesem Bau wurden Steine, die 100 bis 600 Centner wogen, versetzt, doch scheint es nach der Beschreibung, dafs die schwersten derselben von Fahrzeugen aus und nicht durch diese Maschine gehoben wurden.

Telford hat beim Bau der Schleusen am Caledonischen Kanal noch in andrer Art den Aufhängepunkt der Last unter dem Ausleger des Krahns verändert. Fig. 27 auf Taf. III zeigt diese Anordnung. Der Krahn besteht dabei nur aus einem Ausleger und der Drehsäule. Diese ist etwa 45 Fufs hoch, und wird in ihrer senkrechten Stellung durch Kopftaue gehalten. Am Ausleger ist aufser der Rolle, worüber das Haupttau gezogen ist, in der Nähe der Drehsäule noch ein Flaschenzug befestigt, und jenachdem man das erste Tau oder die durch den Flaschenzug geschorne Leine anzieht, entfernt oder nähert sich der gehobene Stein der Säule.

Hiermit hängt ein Anordnung zusammen, die man nicht sowohl beim Versetzen von Werkstücken, als vielmehr beim Aufstellen von hölzernen Brücken, Lehrbogen und dergl. zu benutzen pflegt. Sie besteht darin, dafs einzelne Bäume senkrecht aufgestellt und durch Kopftaue gehalten werden. An ihren obern Enden sind Flaschenzüge befestigt, die gemeinschaftlich das zu hebende Verbandstück fassen, und sonach Gelegenheit geben, letzteres an jeder beliebigen Stelle zwischen den Aufhängepunkten schwebend zu erhalten.

Durch die meisten der beschriebenen Hebezeuge kann man das zu versetzende Werkstück in einer Kreislinie horizontal bewegen, und indem mehrfach noch die Anordnung dabei getroffen ist, den Aufhängepunkt in radialer Richtung der Drehsäule zu nähern, oder davon zu entfernen, so kann man die Last über jeden Punkt der Fläche bringen, welche der Ausleger umfafst. Wenn jedoch die Winde-Vorrichtung an die Drehsäule befestigt ist, und die Kette von hier über eine einfache Scheibe geführt wird, die sich auf dem Ausleger verschieben läfst, so wird die gehobene Last bei der Annäherung an den Ausleger sich senken, und im entgegengesetzten Falle mufs sie aufs Neue gehoben werden, wie dieses bei dem Fig. 26 dargestellten Krahn der Fall ist. Um die Last bei dieser radialen Bewegung in ihrer Höhe zu erhalten, hat man zuweilen die Winde-Vorrichtung auf jenen Wagen gestellt, der auf dem Ausleger sich befindet, man hat auch wohl auf dem Ende des Auslegers noch eine zweite Drehsäule mit besonderm Ausleger angebracht, wodurch man wieder jeden einzelnen Punkt der umfafsten Fläche erreichen kann, doch sind beide Anordnungen zu complicirt, um sie noch vortheilhaft benutzen zu können, wenn sehr schwere Massen gehoben werden sollen.

Die passendste Lösung der Aufgabe ist diejenige, welche Fig. 59 auf Taf. VII dargestellt ist, und die namentlich in gröfseren Eisengiefsereien vielfach Anwendung gefunden hat. Der auf dem horizontalen Ausleger laufende Wagen *B*, gewöhnlich die Katze genannt, trägt nämlich zwei Scheiben. Die Kette, woran die Last gehoben und gesenkt wird, ist am Ende des Auslegers bei *C* befestigt, sie wird über beide erwähnte Scheiben gezogen und dazwischen trägt sie die Scheibe *D*, woran die Last hängt. Ihr andres Ende *A* greift in die Winde-Vorrichtung, die sich an der Drehsäule befindet. Zur Bewegung der Katze nach beiden Richtungen dient eine andre Kette, deren beide Enden *E* und *F* an eine gemeinschaftliche Winde in entgegengesetzter Richtung befestigt sind. Zieht man das Ende *F* an, so wird in gleichem Maafse das Ende *E* frei, und die Katze nähert sich mit der daran hängenden Last der Drehsäule, im entgegengesetzten Falle entfernt sie sich von dieser. Man bemerkt aber, dafs in beiden Fällen die Last weder gehoben noch gesenkt wird, weil jedesmal eine der beiden Ketten, welche die Scheibe *D* tragen, um ebensoviel angezogen, wie die andre nachgelassen wird.

Um Irrungen vorzubeugen ist in der Figur nur diejenige Kette, die zum Heben und Senken dient, als solche bezeichnet, während die andre als Tau dargestellt ist.

Wesentlich verschieden von den bisher beschriebenen Böcken und Krahnen ist eine Hebe-Vorrichtung die in neurer Zeit vielfach, und auf Baustellen, wo in beschränkten Räumen eine grofse Anzahl von Werkstücken zu versetzen sind, beinahe ausschliefslich benutzt wird. Dieses ist der sogenannte Laufkrahn oder Rollkrahn. Derselbe besteht aus einer horizontalen Eisenbahn, worauf ein Wagen gestellt ist, der die Winde-Vorrichtung trägt. Auf dem Wagen stehn die Arbeiter, welche die Last heben und senken, auch mittelst besonderer Kurbeln und Getriebe den Wagen auf der Bahn hin und her bewegen. Die Eisenbahn selbst ruht aber nicht auf festen Unterlagen, sondern jedes Ende liegt auf je zwei hinter einander befindlichen Rädern. Werden diese Räder, die wieder auf Schienen stehn, mittelst geeigneter Vorrichtungen übereinstimmend gedreht, so verschiebt sich die erste Eisenbahn in einer Richtung, welche rechtwinkelig gegen sie gekehrt ist. Die Winde-Vorrichtung, mittelst deren das Werkstück gehoben ist, kann also durch die Bewegung des Wagens und der Bahn, die diesen trägt, in zwei unter rechtem Winkel sich schneidenden Richtungen bewegt, und sonach an jede beliebige Stelle innerhalb der zweiten Bahn gebracht werden.

Diese Vorrichtung wurde zuerst in England benutzt, doch wird sie gegenwärtig auch bei uns, sowohl bei Wasserbauten, wie bei Hochbauten und in Maschinenbau-Anstalten gebraucht, so oft in mäfsiger räumlicher Ausdehnung eine grofse Anzahl von Werkstücken oder andern schweren Gegenständen gehoben und an bestimmten Stellen niedergelegt werden soll. In der Anordnung dieser Maschine kommen vielfache Modificationen vor. Fig. 28 auf Taf. III stellt eine Anordnung dar, wobei nur die eigentlichen Maschinentheile aus Eisen, alle Verbandstücke aber aus Holz bestehn. Fig. 28*a* zeigt die Seitenansicht, *b* die Ansicht von vorn, *c* von rückwärts und *d* den Grundrifs. Die Figuren *b* und *c* enthalten der gröfsern Deutlichkeit wegen jedesmal nur die zunächstliegende Maschine, nämlich *b* die Maschine zum Fortbewegen des Wagens und *c* diejenige zum Heben und Herablassen der Steine. Eine specielle Beschreibung ist überflüssig, da die Einzelheiten sich aus der Zeichnung ergeben, es mufs indessen noch von manchen Verschiedenheiten

der Construction die Rede sein, die hierbei vorkommen. Zunächst entsteht die Frage, ob man die untere Bahn, worauf die obere sich bewegt, in der Höhe des Bodens, oder so hoch anlegen soll, dafs sie gleich das ganze auszuführende Mauerwerk überragt. Im letzten Falle wird der Unterbau kostbarer, man vermeidet aber die hohen beweglichen Rüstungen, welche man sonst anbringen mufs, um die obere Bahn zu tragen. Wenn man gezwungen ist, Rüstpfähle anzuwenden, so möchte es vortheilhaft sein, dieselben gleich auf die ganze Höhe heraufreichen zu lassen, aber auch wenn dieses nicht der Fall ist, so empfiehlt es sich, die feste Bahn recht hoch herauf zu bringen, denn dadurch vermindert sich die zu bewegende Masse der zweiten Bahn. Im entgegengesetzten Falle mufs man stark verstrebte Böcke anwenden, wie solche im Folgenden beschrieben werden sollen.

Demnächst mufs man sich entscheiden, ob die obere oder die bewegliche Bahn mit vollständigen Laufbrücken zur Seite versehn werden soll, damit die Arbeiter dem Wagen, der die Winde-Vorrichtung trägt, überall folgen können. Dieses ist die gewöhnliche Anordnung, sie vermehrt indessen die zu bewegende Masse, denn es genügen alsdann nicht mehr die beiden Balken, welche die Bahn bilden, vielmehr müssen zu deren Seiten noch zwei solche gelegt und darüber ein vollständiger Bohlenbelag mit Seitengeländern angebracht werden. Das Gewicht der obern Bahn kann sich dadurch leicht verdoppeln, und sonach scheint die andre Methode vortheilhafter, die auch häufig vorkommt und die in der Zeichnung gewählt ist. Die Laufbrücke ist nämlich mit dem Wagen verbunden, und die Arbeiter, welche die Winde-Vorrichtung in Bewegung setzen, stehn auf diesem und rücken gemeinschaftlich mit ihm fort.

Wenn die obere Bahn nur auf eine mäfsige Länge, also etwa auf 24 Fufs frei liegt, so genügen einfache Balken, die keiner besondern Verstärkung bedürfen, wird diese Länge aber gröfser, oder haben die Werkstücke, die man versetzen will, bedeutende Dimensionen, so mufs das Durchbiegen der Balken der obern Bahn verhindert werden. Die gewöhnlichste Methode ist hierbei diese, dafs man die Balken durch eine eiserne Kette unterstützt. In der Figur ist dabei nur eine Stütze und zwar aus Schmiedeeisen dargestellt. In England hat man gewöhnlich deren zwei, und zwar aus Gufseisen, wodurch die Höhe dieser Armirung sich vermindert und so-

nach wieder die ganze Bahn weniger hoch liegen darf. Durch diese Vorkehrungen wird indessen das Ausbiegen der Balken nach der Seite noch nicht verhindert, es dienen dazu vielmehr die in der Figur angegebenen horizontalen Streben an beiden Enden der beweglichen Bahn, die jedoch in England gewöhnlich nicht vorkommen. Indem die beiderseitigen Schienen der obern Bahn nicht direct verbunden werden können, auch die Balken gegen seitliche Verbiegung nicht gehörig gesichert sind, so dürfen keine Räder mit einfachen Spurkränzen benutzt werden. Die konische Form der Radfelge würde noch beitragen, die Schienen auseinander zu drängen. Die Räder haben daher doppelte Spurkränze, oder sind mit vertieften Rillen versehn, so dafs sie die Schienen umfassen und selbige in dem gehörigen Abstande von einander halten. Das Verstellen des Wagens, wie der obern Bahn erfolgt dadurch, dafs ein Getriebe durch ein oder zwei Kurbeln gedreht wird und die Bewegung einem Stirnrade an der Achse der Räder mittheilt. Am vortheilhaftesten ist es, wenn dieses gezahnte Rad unmittelbar neben dem Wagenrade liegt, oder mit demselben aus einem Stücke besteht, wie dieses die Figur an einem Rade der untern Bahn zeigt. Am Wagen selbst ist eine andre Einrichtung gewählt, um die Construction des hölzernen Bockes zu vereinfachen. In England sieht man jedoch auf diesen Wagen nur eiserne Rüstungen mit verticalen Seitenwänden, wodurch die Veranlassung fortfällt, das gezahnte Rad nach der Mitte der Achse zu verlegen. Endlich wäre noch zu erwähnen, dafs man in England gewöhnlich alle vier Räder, worauf die obere Bahn ruht, mit gezahnten Rädern und Kurbeln versieht, und dafs häufig auch hier leichte Brücken an der obern Bahn hängen, worauf die Arbeiter stehn.

Die ganze Vorrichtung läfst sich dadurch bedeutend vereinfachen, dafs man die Maschine zum Heben der Werkstücke von dem Wagen trennt und sie an die Enden der obern Bahn verlegt. Alsdann dürfen die Arbeiter nur neben der untern Bahn bleiben, und der Wagen, wie auch die obere Bahn werden wesentlich erleichtert. Fig. 54 auf Taf. VI zeigt eine solche Anordnung, die man nicht nur bei Bau-Ausführungen, sondern auch zu andern Zwecken oft benutzt. Die hier dargestellte diente in Sunderland zum Aufstapeln starker Schiffsbauhölzer. Die untere Bahn liegt auf ebener Erde, die obere dagegen ruht auf einem hohen Bocke, der von vier Rä-

dern getragen wird, von denen zwei mittelst angegossner gezahnter Räder und Getriebe bewegt werden. Aufserdem ist an jeder Seite eine Winde-Vorrichtung angebracht, mittelst deren nicht nur die Last gehoben, sondern auch der Wagen auf der obern Bahn hin und her bewegt werden kann. Letzterer besteht, wie Fig. 54, *c* in gröfserem Mafsstabe zeigt, nur aus zwei mit einander verbundenen Achsen, worauf vier kleine Räder, die den Wagen tragen, fest aufgesteckt sind. Letztere drehn sich, wie bei Eisenbahnwagen, gemeinschaftlich mit den Achsen und zwischen ihnen befindet sich noch je eine Scheibe, die sich frei dreht. Ich habe letztere etwas gröfser als die Räder gezeichnet, damit sie sich in der Figur gehörig von diesen unterscheiden. Von jeder Winde geht eine Kette zunächst über eine Leitrolle am Ende der obern Bahn nach der nächsten Mittelscheibe auf dem Wagen und von hier nach der zu hebenden Last. Es ist klar, dafs, wenn beide Winden gleichmäfsig gedreht werden, die Last nur gehoben oder gesenkt wird, ohne die Stellung des Wagens zu verändern. Wenn dagegen die Winden mit gleicher Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung gedreht werden, so wird die Last weder gehoben noch gesenkt, und der Wagen läuft nach derjenigen Seite, wo sich die Kette verkürzt. Wenn ferner die eine Winde feststeht und nur die andere angezogen wird, so bewegt sich die Last unter einem Winkel von 45 Graden aufwärts, und sonach kann man sie durch die passende Drehung der Kurbeln willkührlich heben und senken oder rechts und links bewegen.

Fig. 55 *a* und *b* zeigt einen Wagen derselben Art, wobei durch Anbringung mehreren Scheiben das Verhältnifs der Kraft zur Last vermindert ist. Zur Erklärung der Figur darf nur bemerkt werden, dafs die Last an einem zweischeibigen Block hängt, und dafs der Deutlichkeit wegen nicht zwei Ketten, sondern eine Kette und ein Tau gezeichnet sind, während man wirklich zwei Ketten anzuwenden pflegt. Dieser Wagen wurde beim Versetzen der Werkstücke des Viaducts in der London-Greenwich Eisenbahn benutzt, die Rüstung oder der bewegliche Bock hatte hier eine Höhe und Länge von 33 Fufs.

Endlich mufs über die eigentliche Winde-Vorrichtung noch Einiges erwähnt werden, was sich ebensowohl auf die letzte Anordnung, wie auf mehrere der beschriebenen Hebezeuge bezieht. Wenn die Bewegung, wie gewöhnlich, durch Kurbeln geschieht,

so können deren zwei an derselben Achse angebracht werden, und indem an jeder zwei Mann bequem anzustellen sind, so ist die gröfste Betriebskraft, über welche man disponiren kann, vier Menschenkräften gleich. Das Verhältnifs zwischen dem Rade und Getriebe mufs man mit Rücksicht auf den Durchmesser der Winde so wählen, dafs die Last noch sicher und ohne übermäfsige Anstrengung gehoben werden kann. Zuweilen ist jedoch die Last so grofs, dafs man sich gezwungen sieht, noch ein zweites Getriebe nebst zugehörigem Rade als Vorgelege zu benutzen, und wenn zu Zeiten auch kleinere Lasten mit derselben Maschine gehoben werden müssen, so ist es vortheilhaft, eine Auslösung anzubringen, so dafs beliebig das zweite Getriebe aufser Thätigkeit gesetzt werden kann und das erste unmittelbar in das Rad an der Winde eingreift.

Die Winde darf bei einem starken Hebetau oder einer starken Kette nicht einen zu kleinen Durchmesser erhalten, weil dadurch, abgesehn von ihrer geringern Festigkeit, auch eine starke Abnutzung des Taues und eine merkliche Reibung in den Kettengliedern veranlafst würde. Demnächst ist es auch vortheilhaft, durch eine schraubenförmig gewundene Rinne in der Winde dem Tau oder der Kette die Stelle vorzuzeichnen, wo sie sich auflegen sollen, man vermeidet dadurch eine mögliche Unordnung und Unregelmäfsigkeit in der Belastung des Rades. Das Tau nutzt sich aber vorzugsweise dadurch ab, wenn es sich in starker Spannung gegen die bereits aufliegenden Windungen reibt. Die erwähnte Rinne verhindert dieses, und wenn sie im Holze oder Gufseisen mit glatten Wänden ausgearbeitet ist, so wird die Abnutzung wesentlich vermindert. Bei Anwendung von Ketten besteht die Winde aus einer gufseisernen Trommel, und die Rinne ist so breit und tief eingeschnitten, dafs die Kettenglieder sich darin abwechselnd auf die hohe Kante einschieben können. Alsdann legt sich ein Glied um das andere flach auf die Trommel und die dazwischen befindlichen stellen sich in die Rinne. Dadurch erfolgt das Aufwinden der Kette sehr sanft und ohne ein späteres Kanten und Ziehn der Glieder, was immer mit Stöfsen verbunden ist. Zur Erreichung dieser Vortheile gehört indessen noch, dafs die Kette aus gleichen Gliedern bestehn mufs.

An der Winde selbst oder an der Kurbelachse mufs ferner ein Sperrrad nebst Haken angebracht sein, um die Last schwebend erhalten zu können. Zum Herablassen der Last, und namentlich wenn

dieses zu einer gröfsern Tiefe erfolgt, darf aber endlich auch die Bremsvorrichtung nicht fehlen. Am zweckmäfsigsten ist es, das Bremsrad, wie Fig. 28 *a*, *c* und *d* gezeichnet ist, unmittelbar an der Kurbelachse anzubringen, in welchem Falle es beim Heben schon die Stelle eines Schwungrades vertritt. Die Bremsvorrichtung ist Fig. 28 *e* noch besonders dargestellt. Zwei hölzerne Futter, die in der Figur schraffirt sind, werden durch eine eiserne Schiene gegen die breite Fläche des Rades gepreſst, und zwar geschieht dieses durch den Hebel, der in der angedeuteten Stellung diese Pressung bewirkt. Wird derselbe aber in diejenige Lage gebracht, welche die punktirte Linie angiebt, so entfernen sich gleichzeitig beide Futter von dem Rade, und die Reibung hört auf. Man muſs indessen noch durch ein Gegengewicht dafür sorgen, daſs der Hebel sich von selbst in der letzten Stellung erhält, alsdann darf er nur, wenn gebremst werden soll, herabgedrückt werden.

Die Schienen, welche man zu den Bahnen an diesen Krahnen benutzt, haben gewöhnlich das in Fig. 56, Taf. VI dargestellte Profil, ihre Höhe beträgt aber häufig kaum 2 Zoll. Mittelst derselben Schienen werden auch Eisenbahnen zum Anfahren der Baumaterialien dargestellt, wobei die Abzweigungen und Weichen wieder nur aus Stücken eben dieser Schienen bestehn. Fig. 57 zeigt eine Anordnung dieser Art, die ich bei Liverpool sah. Die beiden innern Schienen der Abzweigung waren jede nur mit einem Nagel befestigt, und lieſsen sich daher, so oft der Strang, zu dem sie gehörten, benutzt werden sollte, einstellen, wobei sie noch gegen zwei andere Nägel gelehnt waren. Die innere Schiene des andern Geleises lag dagegen während dieser Zeit auf dem äuſsern Strange.

§. 5.

Trockne Mauern.

Die Cohäsion des Mörtels trägt ohne Zweifel zur Festigkeit der Mauern wesentlich bei, wenn man aber gröfsere Stärken wählt und zugleich für gehörigen Verband sorgt, auch die Steine nicht auf gröfsere Länge hohl liegen läſst, so kann der Mörtel entbehrt werden. Solche Mauern, die man trockne Mauern nennt, sind nicht

nur im Stande, bis zu einer gewissen Höhe sich selbst sicher zu tragen, sondern sie leisten auch dem Druck einer seitwärts dagegen geschütteten Erdmasse den nöthigen Widerstand. Auf diese Art lassen sich häufig die Kosten ansehnlich ermäfsigen, und namentlich geschieht dieses in Gebirgsgegenden bei Strafsen- und zum Theil auch bei Strombauten, wenn ein brauchbares Steinmaterial in der Nähe gebrochen wird.

Was die Dimensionen und überhaupt die Profilirung dieser Mauer betrifft, so darf man nicht übersehn, dafs die einzelnen Steine weniger sicher gelagert sind, als im gewöhnlichen Mauerwerk, woher eine schräge abwärts gerichtete Bruchfuge sich hier leichter bildet. Dieser Uebelstand läfst sich indessen beseitigen, wenn man der Mauer gröfsere Stärke giebt, daher ist es nicht ungewöhnlich, dafs man bei trocknen Futtermauern die mittlere Stärke ihrer halben Höhe gleich macht. Sganzin räth sogar, sie gleich zwei Dritteln der Höhe anzunehmen. Auch dürfen die oben erwähnten Rücksichten nicht unbeachtet bleiben, dafs nämlich der Boden, worauf die Mauer steht, horizontal oder sogar mit einer Neigung nach hinten geebnet, und dafs die Hinterfüllungserde keineswegs auf eine nach der Mauer abfallende schräge Fläche gebracht werden darf, sondern der Boden, wenn er rückwärts ansteigt, mit stufenförmigen Einschnitten zu versehn ist. Zuweilen trifft es sich, dafs man zur Hinterfüllung keine lose Erde, sondern ein lagerhaftes Steinmaterial benutzt, und solches läfst sich so aufbringen, dafs es gar keinen, oder doch nur einen sehr geringen Seitendruck ausübt. Dazu gehört aber, dafs das Material in horizontal abgeglichenen Schichten verpackt wird. Die Fälle dieser Art sind bei Strafsenbauten im Thonschiefer-Gebirge nicht selten, und alsdann kann man den eigentlichen Futtermauern ohne Nachtheil sehr geringe Dimensionen geben, es geschieht sogar, dafs sie nur den sechsten Theil der Höhe zur mittlern Stärke erhalten, aber eigentlich bildet dabei die ganze Hinterfüllung schon die Futtermauer, die nur mit geringerer Sorgfalt ausgeführt ist.

Bei dem gewöhnlichen Mauerwerk sprachen manche Gründe dagegen, die äufsere Fläche geneigt aufzuführen, und namentlich erschien es nachtheilig, die Lagerfugen nach aufsen schräge ansteigen zu lassen, weil der Mörtel durch das eindringende Wasser leiden konnte. Hier sind alle Fugen mehr oder weniger geöffnet,

das Wasser kann überall eindringen, doch verfolgt es nicht die geneigte Fuge, weil es bald Gelegenheit findet, durch die Stofsfugen abzufliefsen. Das Steinmaterial wird auch so gewählt, dafs es unter dem Zutritt des Wassers nicht leidet. Hiernach steht nichts im Wege, die äufsere Mauerfläche dem Seitendrucke ensprechend zu neigen, und die Schichten, so wie auch die Lagerfugen normal dagegen zu führen. Hierdurch wird sogar, wenn nicht etwa Wellenschlag dagegen trifft, der Vortheil erreicht, dafs sich um so schneller eine Vegetation in den Fugen bildet, welche die Stabilität der Mauer vermehrt, indem durch die Wurzeln die Fugen gefüllt werden.

Für einen guten Verband mufs, wie bereits erwähnt, in den trocknen Mauern wieder gesorgt werden, und dazu gehört, dafs regelmäfsige Schichten sich durch die ganze Stärke der Mauer hindurch ziehn, und die Stofsfugen gehörig abwechseln. Dabei kommt es wenig darauf an, ob die innere Fläche der Mauer eben ansteigt, oder ob einzelne Steine daraus mehr oder weniger vortreten. Ganz unstatthaft ist das Verfahren, welches man sich hierbei zuweilen erlaubt, nämlich eine Art Verblendung mit brauchbaren Steinen an der äufsern und der innern Fläche anzubringen, während der Zwischenraum oder der eigentliche Kern der Mauer nur aus Steinschrot gebildet wird. Wenn die Bauten ohne gehörige Aufsicht ausgeführt werden, so kommen solche fehlerhafte Constructionen wohl vor, und man erkennt sie an der fertigen Mauer nicht leicht, wenn nicht etwa die grofse Ebenheit der Flächen schon Verdacht erregt.

Wenn die Steine recht lagerhaft und überdiefs sehr fest sind, so kann man wenigstens für niedrige Mauern die Ausfüllung der Fugen und selbst die der Lagerfugen ganz umgehn, ist die Mauer aber stark geneigt, und steigen sonach die Lagerfugen nach aufsen ziemlich steil an, so ist eine bindende Erde oder Sand und Kies zu diesem Zwecke brauchbar. Die Mauer bildet in diesem Falle schon den Uebergang zum Steinpflaster. Man mufs indessen darauf achten, dafs die Steine sich wirklich unmittelbar berühren, und das Bette nicht aus einer dicken Erde oder Kieslage besteht, denn eine solche kann leicht mit der Zeit herausgespült werden, und alsdann würden die Steine, denen die Unterstützung fehlt, herabsinken. Häufig wendet man bei trocknen Mauern zum Ausfüllen der Fugen das Moos an, und dieses gewährt in der That manche wesentliche Vortheile. Bei sorgfältiger Arbeit, und wenn es nicht in zu kleinen

Quantitäten benutzt wird, lassen sich daraus auch bei unregelmäfsiger Form der Steine gute Lager bilden, so dafs der Druck sich ziemlich gleichmäfsig vertheilt. Ein Ausspülen durch Wasser findet hierbei aber nicht statt, vielmehr sammeln die erdigen Theilchen, welche das Wasser mit sich führt, sich in und neben dem Moose an, so dafs die Fuge nach und nach sich mehr schliefst, wodurch das Moos später entbehrlich wird, und die Mauer sonach an Stabilität nicht leiden würde, wenn das Moos vollständig verrotten sollte, indem Wurzeln und Pflanzen an seine Stelle getreten sind. Endlich aber ist zu bemerken, dafs das Moos selbst da, wo es abwechselnd trocken und nafs wird, sich mehrere Jahre hindurch unverändert erhält, besonders wenn die eingespülte Erde ein vollständiges Austrocknen desselben verhindert.

Für die Ableitung des Wassers darf man bei trocknen Mauern gewöhnlich nicht sorgen, indem die sämmtlichen Fugen für diesen Zweck hinreichend geöffnet sind. Wo dagegen gröfsere Quellen sich vorfinden, ist es nöthig, die passenden Oeffnungen darzustellen, und man thut sogar wohl, unter der Hinterfüllungserde förmliche überdeckte Kanäle, oder wenigstens Sickergräben zu bilden, in welchen das Wasser nach der Mauer fliefsen kann, ohne durch die Erde dringen zu dürfen, die es sonst erweichen würde.

Als eine besondere Art von trocknen Mauern mufs noch das in Frankreich übliche sogenannte Perré erwähnt werden. Dasselbe ist eigentlich nur ein sorgfältig ausgeführtes Steinpflaster auf einer stark geneigten Erdoberfläche. Diese Perrés sieht man namentlich als Fortsetzung von den Flügelmauern der Brücken an den Ufern der Flüsse und Kanäle, und oft bilden sie, indem ihre Neigung gleichmäfsig zunimmt, den Uebergang von der senkrechten Futtermauer bis zur flachen Uferböschung, welche mit Rasen bedeckt ist.

Die Stärke und sonstige Anordnung solcher Perrés ist nach den besondern Local-Umständen sehr verschieden. Fig. 29 zeigt das Profil von demjenigen, welches das Ufer der Seine in Paris ohnfern des botanischen Gartens sichert. Auf den gehörig gestampften Boden wurde eine Reihe von ziemlich regelmäfsig bearbeiteten Steinen versetzt, gegen welche das Perré sich wie auf ein Fundament stützte. Die Hinterfüllung bestand nur aus einer stark bindenden Erde, die man in der Nähe der Ausmündung der unterirdi-

schen Abzugsgräben oder Egouts entnommen hatte, und welche man mit der Benennung der salpetrigen Erde bezeichnete. Dieses war auch dasselbe Material, womit man die Fugen füllte. Die Steine waren lagerhafte, an der äufsern und an den Seitenflächen roh bearbeitete Kalksteine, die reihenweise als Läufer aufgebracht wurden. Ihre Breite oder die Stärke der Mauer betrug etwa 10 Zoll, und die Neigung der Mauern gegen den Horizont 45 Grade. Die Fugen waren sämmtlich gegen die äufsere Fläche normal gerichtet, und sobald einige Reihen Steine an einer Stelle versetzt waren, so schlug man sie von oben mit grofsen hölzernen Hammern fest ein, und brachte besonders hierdurch die Ausgleichung der äufsern Fläche hervor, indem ursprünglich die Steine so gesetzt waren, dafs sie 1 bis 2 Zoll mit ihren Köpfen vor die Chablone vortraten. Diese Operation stimmt also sehr genau mit dem Einrammen der Pflastersteine überein, und dieses war hier auch nothwendig, da die Bettung für die einzelnen Steine nicht mit aller Sorgfalt vorbereitet werden konnte. Damit nämlich die Steine beim Versetzen nicht gleich rückwärts überstürzen, so mufs die Hinterfüllung der Mauer, oder die Erdböschung, schon vorher dargestellt sein und immer etwas höher gehalten werden, als die Steinwand, wie Fig. 29 dieses zeigt. Der Arbeiter steht beim Legen eines Steines theils auf diesem Erdrücken, und zum Theil auf den eben versetzten Steinen, seine Stellung ist sonach höchst unbequem und wenn er einen Stein versetzt, so kann er nicht den Raum zwischen demselben und der dahinter liegenden Erdmasse vollständig ausfüllen. Ich bemerke hierbei noch, dafs der untere, mehr horizontale Theil des Pflasters, der sich an den Fufs dieses Perrés anschliefst, mit künstlichem Cement in den Fugen verstrichen war, weil man bei hohen Anschwellungen der Steine hier eine Ausspülung befürchtete.

Fig. 30. *a* und *b* zeigt in der vordern Ansicht und im Profile das Perré, welches Perronet neben der Brücke zu Neuilly ausführte. Dasselbe lehnt sich mit seinem Fufs gegen den Holm einer Pfahlwand, es besteht aber nicht nur aus den Pflastersteinen, die in geringen Abständen von einzelnen Ketten regelmäfsig bearbeiteter Werkstücke durchzogen sind, sondern die ganze Decke ruht auf einer Hinterfüllung von Steinen. Es verdient noch bemerkt zu werden, dafs man in vielen Fällen in Frankreich nicht sowohl auf die Bildung von regelmäfsigen Steinschichten in den Perrés sieht, als

vielmehr nur darauf, dafs die Steine möglichst schliefsend versetzt werden. Gewöhnlich stehn sie auf einer Kiesschüttung, womit auch die Fugen gefüllt werden *).

Ich erwähne hierbei noch eines Vorschlages von Vallée **), um denjenigen Perrés, welche die Ufer von gröfsern Wasserbassins decken, mehr Festigkeit zu geben. An Strömen, die zeitweise trübes Wasser abführen, pflegen die Perrés sich gut zu halten, indem eine leichte Vegetation bald die Fugen überzieht, und diesen dadurch einen kräftigen Schutz gegen Ausspülen gewährt, wogegen in Bassins, welche Canäle speisen, in jedem Jahre sehr hohe und sehr niedrige Wasserstände wechseln, die überdies immer mehrere Monate hindurch anhalten und jede Vegetation zerstören. Der nachtheiligste Umstand ist hierbei aber der Wellenschlag, wobei nicht nur die Fugen ausgewaschen werden, sondern auch die Hinterfüllungserde, worauf die Steine ruhen, fortgespült wird. Es ist klar, dafs hierdurch die Steindecke dicht über dem Wasserspiegel einsinkt, auch geschieht es nicht selten, dafs sie unter Wasser sich nach aufsen ausbaucht. Vallée's Vorschlag, der jedoch von der obersten Baubehörde in Frankreich nicht allgemein gebilligt wurde, ging dahin, statt der Perrés kleine stark dossirte Futtermauern mit horizontalen Schichten in Mörtel auszuführen, und dieselben, wie Fig. 31 zeigt, durch einzelne flache Schichten mit einander zu verbinden.

§. 6.

Bohlwerke.

Die Bohlwerke oder hölzernen Uferschälungen sind gewöhnlich mit geringeren Baukosten, als massive darzustellen, man wählt sie daher in vielen Fällen, wenn sie auch mit Rücksicht auf die häufigeren Reparaturen und Erneuerungen theurer sind, als gemauerte Uferschälungen. Wenn dagegen die Holzpreise niedrig, die Preise der Maurer-Materialien dagegen sehr hoch sind, so führt

---

*) *Girard, devis général du Canal de l'Ourcq.* Paris 1806. p. 82.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1833. I. p. 274.

der Vergleich zu einem entgegengesetzten Resultat, da man namentlich nicht annehmen darf, dafs der Massivbau unvergänglich sei und gar keiner Reparaturen bedürfte. Dazu kommt noch, dafs die Fundirung des letzteren bei Anwendung der gewöhnlichen Constructionsart einen niedrigen Wasserstand während längerer Zeit fordert, woher nicht immer der ganze Bau in einem Jahre beendigt werden kann. Die hölzernen Uferschälungen werden dagegen ohne Fangedämme und ohne Trockenlegung der Baugrube ausgeführt. Die Rammarbeiten, welche dabei am meisten zeitraubend sind, lassen sich beim gewöhnlichen Wasserstande ausführen, und wenn bei einzelnen Arbeiten auch niedriges Wasser sehr wünschenswerth ist, so ist solches doch nicht grade dringend nöthig, und wenn es nicht eintritt, so vergröfsern sich nur die Kosten der nächsten Reparatur. Um nämlich nicht das ganze Bohlwerk einer baldigen Zerstörung auszusetzen, so ist es nothwendig, diejenigen Theile, welche einer abwechselnden Nässe und Trockenheit nicht entzogen werden können, und die aus diesem Grunde keine lange Dauer erwarten lassen, von denjenigen zu trennen, die immer unter Wasser bleiben, und die daher als ebenso unvergänglich angesehen werden, wie der Rost unter der Mauer. Diese letzten Theile, und namentlich die Spundwand, sind bei grofser Wassertiefe besonders kostbar in ihrer Anlage, indem sie aber keineswegs mit den Bohlen und Bohlwerkspfählen zugleich immer erneut werden dürfen, so vermindern sich dadurch schon sehr beträchtlich die Kosten für den nach 15 bis 20 Jahren eintretenden Neubau. Wenn aber ursprünglich die Spundwand mit ihrem Fachbaum wegen des höheren Wasserstandes zu hoch heraufgeführt werden mufste, oder sie nicht tief genug abgeschnitten werden konnte, so gewährt dieses nur den Nachtheil, dafs der Bau in seiner ersten Anlage eine etwas andere Form erhält, als er eigentlich haben sollte, und man wird, wenn der obere Theil der Spundwand zu faulen anfängt, dieselbe nunmehr bei günstigem Wasserstande tiefer abschneiden und mit einem neuen Fachbaum versehn, was sich in kurzer Zeit machen läfst, und wodurch sie der Zerstörung entzogen wird. Die spätern regelmäfsig wiederkehrenden Reparaturen erstrecken sich alsdann nur noch auf die Bohlwerkspfähle, zum Theil auf die Erdanker und vorzüglich auf die Bohlwand selbst. Man kann die Kosten der Unterhaltung aber noch dadurch wesentlich vermindern, dafs man bei eintretender Be-

schädigung der Bohlwerkspfähle dieselben nicht durch neue ersetzt, sondern sie im Niveau des niedrigen Wassers abschneidet, eine Schwelle darüber streckt, und auf letztere eine Ständerwand stellt, wogegen die Bohlen sich lehnen. Der Vortheil, den man hierdurch erreicht, bezieht sich darauf, dafs bei späteren Reparaturen die Rammarbeiten ganz fortfallen, und man statt der langen Bohlwerkspfähle nur die kürzeren Ständer zu erneuen braucht. Man bezeichnet diese Anordnung mit dem Namen der aufgesetzten Wände, und selbige kommen besonders in den Niederlanden vielfach vor. Nichts desto weniger darf man nicht übersehn, dafs hierbei eine festere Verankerung nöthig wird, und dafs man selbst durch diese das Bohlwerk gegen den Erddruck nicht gehörig sichern kann, wenn eine grofse Wassertiefe sich davor befindet, denn die abgeschnittenen Bohlwerkspfähle lassen sich nicht unmittelbar mit den Erdankern in Verbindung bringen, und bleiben daher der Gefahr ausgesetzt, herausgedrängt zu werden. Auch wenn Seeschiffe vor dem Bohlwerke liegen, kann man die durchgehenden Pfähle nicht entbehren, weil die unvermeidlichen starken Erschütterungen beim Anlegen der Schiffe die Verbindung in der Schwelle lösen würden.

Bei Vergleichung der massiven mit den hölzernen Uferschälungen kommen aufser den Kosten noch einige andre Umstände in Betracht. Dem hölzernen Bohlwerk läfst sich nicht leicht diejenige Sauberkeit in der Ausführung geben und noch weniger erhalten, welche man in vielen Fällen gern erreichen möchte. Dazu kommt noch der sehr ungünstige Umstand, dafs die Strafse dahinter bei jeder Reparatur aufgegraben werden mufs, und darin schon vorher bei eintretender Beschädigung des Bohlwerks Sackungen und Einsenkungen sich zeigen, so dafs die Erhaltung eines guten Steinpflasters hier schwierig wird. Aus diesen Gründen wird man in grofsen Städten dem Massivbau unbedingt den Vorzug geben. Auch für die dahinter liegenden Gebäude, besonders wenn dieselben mehrere Stockwerke hoch und massiv sind, werden die oft wiederkehrenden Reparaturen der Bohlwerke wegen der Erschütterungen bei den Rammarbeiten sehr nachtheilig und dieses um so mehr, als gerade in dieser Zeit die zwischenliegende Erdmasse nicht gehörig gestützt ist, und sonach die Fundamentmauern leicht dem Seitendrucke der Gewölbe nachgeben können. Dagegen ist für das Anlegen der Schiffe ein Bohlwerk vortheilhafter, als eine Kaimauer, und wenn

einiger Wellenschlag stattfindet, so kann ein Schiff nicht an der Mauer selbst liegen, ohne grofsen Beschädigungen durch das Reiben und Stofsen ausgesetzt zu werden. Aus diesem Grunde versieht man die Kaimauern mit angebolzten Hölzern, oder sogenannten Reibhölzern, gegen welche die Schiffe sich lehnen. Wenn aber die Ufereinfassung mit starker Böschung sich bis zur Sohle des Fahrwassers fortsetzt, so mufs man eine vollständige Holzwand, die sogenannnte Gordungswand, davor aufstellen, wie solche vielfach in unsern Ostsee-Häfen vorkommt.

Die erwähnten Umstände beziehn sich grofsentheils auf eigentliche Uferschälungen, die das Ufer eines Stromes oder Sees bilden, die Bohlwerke haben indessen, ebenso wie die Futtermauern zuweilen auch nur den Zweck, ein höheres Terrain gegen ein niedrigeres zu begrenzen, und die Vergleichung zwischen beiden Constructionsarten zeigt alsdann wegen der leichteren Fundirung gewöhnlich einen so überwiegenden Vortheil für den Massivbau, dafs man nur selten sich zum Holzbau entschliefsen wird. Der letztere ist aber in diesem Falle der Fäulnifs noch mehr ausgesetzt, als wenn er neben einem Flusse ausgeführt wäre, indem nicht nur der freistehende Theil der Bohlwerkspfähle, sondern auch deren untere Enden von der abwechselnden Nässe und Trockenheit leiden und daher Beschädigungen in der Höhe des Erdbodens sich bald zu zeigen pflegen. Es wird sonach im Folgenden nur von denjenigen Bohlwerken die Rede sein, welche an Flüssen oder andern Wasserflächen ausgeführt werden.

Die Bohlwerkspfähle sind nach dem, was bereits erwähnt worden, der Fäulnifs besonders ausgesetzt, wenn sie nicht unter Wasser abgeschnitten werden. Man mufs daher eine Holzart wählen, welche einigermaafsen der Abwechslung der Nässe und Trockenheit widersteht, dazu kommt noch, dafs die Pfähle häufig eine bedeutende Länge haben, und jedenfalls gerade sein müssen, wenn nicht die Rammarbeit sehr erschwert werden soll und man überdies sich der Gefahr aussetzen will, dem ganzen Bau ein sehr unregelmäfsiges Ansehn zu geben. Hiernach kann man für kleinere Bohlwerke wohl Pfähle von Eichen, Ellern oder anderem harten Holze wählen, sobald ihre Länge aber bedeutender wird, so ist man beinahe ausschliefslich auf das Kiefernholz beschränkt, welches sich zu diesem Zweck auch in Hinsicht seiner Dauer gut eignet, sobald es recht harzig ist. Ueber das Einrammen der Pfähle ist schon früher

(Theil I. §. 35 und 36) das Nöthige erwähnt worden, hier wäre in dieser Beziehung nur anzuführen, dafs die Bohlwerkspfähle keineswegs stark beschwert werden, und daher nicht so fest eingetrieben werden dürfen, wie Rostpfähle. Es kommt vielmehr nur darauf an, dafs sie tief genug im Boden stecken, um dem Seitendruck der Erde widerstehn zu können, und da sie in dieser Beziehung noch durch die Erdanker gehalten werden, so genügt es im Allgemeinen, wenn sie auf ihre halbe Länge eingerammt werden. Bei besonders festem Grunde oder bei einer starken Verankerung ist indessen auch dieses nicht nothwendig, im entgegengesetzten Falle müssen sie aber tiefer herabreichen. Hiernach läfst sich die nöthige Länge der Pfähle beurtheilen, ihre Stärke wird zum Theil durch den Seitendruck der Erde bedingt, dem sie wiederstehn müssen. Man würde indessen die Dauer des Baues aufserordentlich beeinträchtigen, wenn man den Querschnitt hiernach allein abmessen wollte, denn die Fäulnifs, welche besonders etwas über dem gewöhnlichen Wasserstande eintritt, vermindert von Jahr zu Jahr diesen Querschnitt und sonach mufs die Erneuung der Pfähle um so früher eintreten, je schwächer sie ursprünglich gewählt wurden. Hiermit hängt auch die Antwort auf die Frage zusammen, ob man das Stammende oder das Wipfelende des Pfahles nach unten kehren soll. Der Bohlwerkspfahl mufs diejenige Stellung erhalten, wobei sein Querschnitt an der Stelle, welche am stärksten der Fäulnifs ausgesetzt ist, der gröfste wird, und dieses geschieht fast immer, wenn man das Wipfelende nach unten kehrt. Man hat freilich häufig auch die entgegengesetzte Stellung empfohlen, theils um dadurch dem Abbrechen in der Oberfläche des Grundes sicherer zu begegnen und theils die Pfähle der Gefahr zu entziehn, dafs sie durch das Eis gehoben werden. Beide Rücksichten sind aber sehr untergeordnet, da ein Bruch in der erwähnten Art wohl nie erfolgt, und ebensowenig ein Bohlwerk, das mit Erde gehörig hinterfüllt ist, durch das Eis gehoben werden kann.

Ferner entsteht die Frage, ob die Bohlwerkspfähle wenigstens in dem obern, sichtbar bleibenden Theile beschlagen werden sollen. Jedenfalls ist diese Arbeit, nachdem die Pfähle eingerammt sind, schwieriger, und wenn daher das Beschlagen überhaupt stattfinden mufs, so kann es nur vorher erfolgen. Die Rammarbeit wird alsdann aber wegen der nöthigen gröfseren Genauigkeit mühsamer,

und bei unreinem Grunde ist es dennoch unmöglich zu verhindern, dafs die Pfähle sich nicht merklich drehen. Dabei darf man auch nicht übersehn, dafs durch das Beschlagen der Querschnitt des Holzes bedeutend und wenigstens um den fünften Theil verringert wird. Hiernach scheint dieses Verfahren im Allgemeinen keineswegs empfehlenswerth, und es dürfte wohl vorzuziehn sein, eine aufgesetzte Wand zu wählen, falls es Bedingung ist, dem Bohlwerke ein recht regelmäfsiges Ansehn zu geben. In den meisten Fällen ist dieser Umstand indessen von untergeordneter Bedeutung, und dieses um so mehr, als sich manche andre sehr augenfällige Beschädigungen später doch nicht vermeiden lassen. Wenn man daher nur die möglichste Solidität beachtet, so ist es angemessner, Rundholz zu verwenden, und an den Pfählen, nachdem sie bereits gesetzt sind, die innere Seite, wogegen die Bohlwand sich lehnt, in einer Flucht, die sich der ganzen Pfahlreihe anschliefst, zu beschlagen. Stehn die Pfähle auf eine gröfsere Länge frei, so lassen sie sich freilich, nachdem sie gerammt sind, noch einigermaafsen richten, und dadurch kann man die Köpfe der beschlagenen Pfähle wieder in eine gerade Linie bringen, und manche Unregelmäfsigkeiten, die beim Einrammen vorkamen, aufheben. Dieses Verfahren beeinträchtigt indessen die Solidität des ganzen Baues, denn jeder Pfahl, den man vor- oder zurückgezogen hat, behält die Tendenz, seine frühere Stellung wieder einzunehmen, und wenn er hieran durch die Verzapfung im Holme verhindert wird, so übt er einen fortwährenden Druck aus, und bei einem etwanigen starken Stofse durch ein gegenfahrendes Schiff, oder wenn der Holm bei eintretender Fäulnifs seine frühere Festigkeit verliert, so sprengt der Pfahl die Backe des Zapfenloches ab, oder spaltet den ganzen Holm, und tritt dann wieder so weit vor die Pfahlreihe, wie er ursprünglich stand.

Die Entfernung der einzelnen Pfähle von einander richtet sich nach der Stärke der Bohlen, die man zur Verschalung wählt. Sie sind gewöhnlich 4 Zoll stark und alsdann werden die Pfähle ziemlich allgemein in einem Abstande von 4 Fufs von Mitte zu Mitte eingerammt. Man giebt ihnen auch oft einige Neigung, damit sie dem Erddruck um so besser Widerstand leisten.

Um die Bohlwerkspfähle unter einander zu verbinden und das Ausweichen eines einzelnen zu verhindern, versieht man sie gewöhnlich mit einem Holme, worin sie wie die Ständer einer

Holzwand verzapft und mit hölzernen Nägeln vernagelt werden. Der Holm sichert dabei die Pfahlköpfe vor dem Regenwasser, und aus diesem Grunde dürfen die Zapfen auch nicht ganz hindurchreichen. Damit aber das Wasser auf dem Holme nicht zu stark sich ansammelt und in das Holz eindringt, so wird die Oberfläche nach beiden Seiten abgefast, so dafs sich in der Mitte ein schmaler Rücken bildet, der oft in eine stumpfe Kante übergeht. Aufserdem pflegt man den Holm, nachdem er vollständig ausgetrocknet ist, zu theeren und darüber Hammerschlag oder Sand zu streuen.

Wenn der Holm aus mehreren Balken zusammengesetzt wird, so geschieht dieses gewöhnlich nur durch stumpfes Zusammenstofsen, und dieses ist bei einem Bau, der so vielfältigen Beschädigungen ausgesetzt ist, wie ein Bohlwerk, auch das Zweckmäfsigste. Man bringt andrerseits aber auch zuweilen eine Verblattung und zwar das schräge Hackenblatt an. Dieses bildet, so lange das Holz noch unversehrt ist, ohne Zweifel eine festere Verbindung, sobald aber der genaue Schluſs durch die allmählig eintretende Fäulnifs verschwindet, so verbreiten sich darin die Beschädigungen noch schneller, und durch die Erschütterungen beim Anfahren der Schiffe wird auch die Verblattung leicht aus einander gerissen. Die Stofsfuge pflegt man in die Mitte eines Bohlwerkspfahles zu verlegen, während Behufs einer innigeren Verbindung noch eiserne Schienen angebracht werden, die man mit starken Nägeln oder mit Klammern befestigt. Die Schienen müssen einen halben oder wenigstens ein Drittelzoll stark und 2 Zoll breit, die Nägel aber 6 bis 9 Zoll lang sein, wenn sie eine gehörige Verbindung darstellen sollen. Man kann diese Schienen auf der obern Fläche des Holmes anbringen, indem alsdann aber das Wasser zwischen dem Eisen und dem Holze länger zurückgehalten wird, so veranlafst dasselbe leicht Fäulnifs, und es ist daher vortheilhafter, die Schienen auf die Seitenfläche des Holmes zu bringen, und zwar auf die innere, von den Bohlen bedeckte Seite, weil sie hier nicht so leicht losgerissen und gestohlen werden können, auch die Gefahr beseitigt wird, dafs die Schiffe dagegen stofsen. Fig. 32 auf Taf. IV zeigt ein niedriges Bohlwerk, bei dem der Holm in der beschriebenen Art angeordnet ist, die Schiene, welche sonst nicht sichtbar gewesen wäre, mufste aber auf der äufseren Seite gezeichnet werden.

Die beschriebene Verbindung der Pfähle mit dem Holme ist

keineswegs als besonders fest anzusehn, man muſs daher in allen Fällen, wo ein Abheben des Holmes, etwa durch das Gegenstoſsen von Schiffen zu besorgen ist, denselben noch auf andre Art und namentlich durch übergelegte Bügel zu halten suchen. Hiervon wird im Folgenden die Rede sein. Wenn man indessen auch keine Beschädigungen dieser Art befürchtet, so ist die Verbindung immer nicht so fest, daſs ein stärkerer Druck, den ein Pfahl erleidet, sich sicher auf die nächststehenden übertragen könnte und sonach das Ablösen eines einzelnen unmöglich wäre. Es ist schon erwähnt, daſs die Backen der Zapfenlöcher des Holmes unter gewissen Umständen ausspringen, und dieses kann leicht geschehn, da keineswegs die ganze Stärke des Holmes hier in Anspruch genommen wird, sondern nur ein kleiner Theil des Querschnittes den Zapfen des Pfahles zurückhält. Aus diesen Gründen ist eine Anordnung, die Fig. 33 zeigt, und die man bei kleinern Bohlwerken in Holland häufig sieht, sehr angemessen. Statt des Holmes werden nämlich zwei Zangen angebracht, welche die Bohlwerkspfähle umfassen, und durch Schraubenbolzen verbunden sind. Diese Zeichnung stellt ein Bohlwerk bei Sloterdijk zwischen Amsterdam und Haarlem dar. Fig. 34 ist der Querschnitt eines höheren Bohlwerks, gleichfalls aus der Umgegend von Amsterdam. Bei demselben fehlt die innere Zange, während auf die äuſsere, die mit jedem einzelnen Pfahl verbolzt ist, die Erdanker aufgekämmt sind. Die Pfahlköpfe sind auch hier nicht durch Holme bedeckt, sondern nur durch aufgenagelte Brettchen, die das Eintreten des Wassers verhindern. Groſse Vorsicht ist aber in dieser Beziehung wohl überflüssig, da derselbe Pfahl weiter abwärts doch nicht vor Fäulniſs geschützt werden kann, und es sonach ziemlich gleichgültig ist, ob bei der nothwendigen Erneuerung desselben der Kopf gleichfalls bereits schadhaft geworden ist, oder sich noch in gutem Zustande befindet. Häufig geschieht es auch, wie Fig. 35 *a* und *b* zeigt, daſs auſser dem Ankerriegel noch ein Holm angebracht ist. Diese Figur stellt ein Bohlwerk mit aufgesetzter Wand vor, das ich in Utrecht sah.

An die Pfahlwand oder an die aufgesetzte Wand lehnt sich die Verschalung oder die Bohlenwand. Dieselbe besteht gewöhnlich aus drei- oder vierzölligen Bohlen, die horizontal an die Pfähle oder Ständer genagelt sind. Zu diesem Zwecke müssen die Pfähle an der innern Seite nach der Schnur behauen werden, oder wenn sie

schon früher beschlagen waren, so müssen sie doch gewöhnlich noch nachgearbeitet werden, da ein geringes Drehen beim Einrammen sich kaum vermeiden läfst. Die Stöfse der Bohlen treffen wieder auf die Mitte eines Pfahles, und es dürfen nicht mehrere Stöfse unmittelbar übereinander vorkommen. Das Annageln der Bohlen ist in sofern nothwendig, als sie sonst nicht regelmäfsig aufgebracht werden können, sobald das Bohlwerk aber hinterfüllt ist, so preſst der Seitendruck der Erde die Bohlen schon gegen die Pfähle und es ist daher keine Veranlassung vorhanden, diese Befestigung besonders stark zu machen. Gewöhnlich werden die Bohlen an den Stöfsen mit eisernen, und aufserdem gegen jeden andern Pfahl mit einem hölzernen Nagel befestigt. Um in den Lagerfugen einen gehörigen Schluſs darzustellen, versieht man die Bohlen zuweilen mit halber Spundung, oder man schmiegt sie schräge ab, jedoch in beiden Fällen so, dafs die Fuge an der äufsern Seite aufwärts gerichtet ist. Auf solche Art kann man das Durchfallen der Hinterfüllungserde verhindern, allein die scharfen Kanten oder der geschwächte Rand der Bohle fault auch um so früher, und daher ist es angemessener, die Bohlen, nachdem sie in den Berührungsflächen scharf behobelt sind, nur stumpf übereinander zu legen. Ein starkes Hindurchfallen der Hinterfüllungserde darf man über Wasser nicht besorgen, besonders wenn die Erde etwas thonhaltig ist, dagegen treiben durch die Fugen, welche vom Wellenschlage getroffen werden, leicht grofse Massen hindurch, und man mufs, daher diese möglichst schliefsen. Dieses geschieht am leichtesten und wohlfeilsten, indem man von innen schlechte Dielen darüber nagelt. Hierzu eignen sich noch sehr gut die aus dem Sägeblocke geschnittenen äufsern Dielen, und da sie nur die Fugen verdecken sollen, so brauchen sie auch nur wenige Zolle breit zu sein, und sonach kann man diese Dielen ein oder zweimal spalten, und dadurch die Kosten noch mehr ermäfsigen.

Die Bohlenwand ist derjenige Theil des Bohlwerkes, der am schnellsten vergeht und daher am frühesten einer Reparatur bedarf, besonders zeigen diejenigen Gänge, die etwas über den gewöhnlichen Sommerwasserstand treffen, bald Spuren der Fäulnifs. Sie leiden nicht nur durch die abwechselnde Nässe und Trockenheit von aufsen, sondern noch mehr durch die feuchte Erde von innen, die, wenn sie unrein ist, zum Entstehn und zur starken Verbreitung des Schwammes Gelegenheit giebt. Indem aber an den untern Bohlen die Re-

paraturen am schwierigsten auszuführen sind, so ist es angemessen in dieser Höhe statt derselben sechszölliges Halbholz oder schwaches Balkenholz zu verwenden.

Indem die Bohlwerke ohne Fangedämme und ohne Wasserwältigung erbaut werden, so läfst sich die Bohlenwand nur bis zu dem Wasserspiegel herabführen, und es entsteht die Frage, wie man den untern Theil der Felder zwischen den Pfählen schliefsen soll, wenn das Bohlwerk an tieferem Wasser ausgeführt wird. Am sichersten geschieht dieses mittelst einer Spundwand oder auch wohl einer Stülpwand, auf deren Fachbaum der untere Gang der Bohlenwand ruht. Zuweilen läfst man aber auch die Spundwand bis zur ganzen Höhe des Bohlwerkes heraufreichen. Sie lehnt sich alsdann gegen den Holm, oder wie in Fig. 33 angegeben, gegen die innere Zange der Pfahlwand. Diese Anordnung rechtfertigt sich besonders bei der ersten Anlage, doch wird man bei Reparaturen die Spundpfähle nicht ausziehn, und durch neue ersetzen, sondern sie unter Wasser abschneiden und mit einem Fachbaum überdecken.

Die Spundwände sind meist die kostbarsten Theile der Bohlwerke, man wird sie daher nur da anwenden, wo sie sich nicht vermeiden lassen. Dieses ist namentlich der Fall, wenn eine grofse Wassertiefe etwa von 8 oder mehr Fufs unmittelbar vor dem Bohlwerke stattfindet, und besonders auch, wenn eine starke Strömung vorbeigeht, die ein tiefes Auskolken befürchten läfst. Kommen diese Umstände nicht vor, so ist die Spundwand und selbst die Stülpwand entbehrlich, man bringt aber die untern Gänge der Bohlenwand in Tafeln verbunden in ähnlicher Art unter das Wasser, wie dieses bereits bei Gelegenheit der Fangedämme im ersten Theile §. 43 beschrieben und Fig. 32*a* dargestellt ist. Nachdem nämlich die Pfahlwand mit dem Holm versehn ist, baggert man an der innern Seite derselben einen Graben aus, der so tief sein mufs, als möglicher Weise die Auskolkungen neben dem Bohlwerke sich erstrecken können. Alsdann bildet man eine Tafel aus Bohlen von solcher Höhe, dafs dieselbe von der Sohle des Grabens bis über Wasser reicht; das letzte ist nothwendig, damit man sie mit einigen Nägeln sicher befestigen kann. Ist dieses geschehn, so füllt man den Graben von der innern, sowie auch von der äufsern Seite wieder gehörig aus und führt den übrigen Theil der Wand in einzelnen Bohlen bis zum Holm auf.

Die Beschaffenheit des Hinterfüllungs-Materials ist keineswegs gleichgültig, denn nicht nur, dafs feinere und wenig zusammenhängende Erdarten leicht durch die Fugen gespült werden, so darf die Erde auch nicht etwa die Fäulnifs oder die Bildung des Schwammes befördern. In beiden Beziehungen ist eine feste Thonerde oder ein gut bindender Lehm sehr brauchbar, und derselbe wird daher häufig mit bedeutenden Kosten beigeschafft und unmittelbar hinter den Bohlen verwendet. Wenn er jedoch seinen Zweck sicher erfüllen soll, so mufs er eine Wand von mindestens 1 Fufs Stärke bilden. Was die Sicherung des Holzes gegen Fäulnifs und Schwamm betrifft, so besitzt der Thon wohl keine besondern Eigenschaften, die ihn vor den sonst vorkommenden rein mineralischen Erden auszeichnen. Ich habe vielfach bemerkt, dafs eine Sandschüttung sich mindestens eben so vortheilhaft zeigt, und dafs diejenigen Ufereinfassungen, welche Jahrzehende hindurch mit Sand verdeckt waren, sobald sie wieder zum Vorschein kamen, keine Spur von Fäulnifs bemerken liefsen, wohl aber war in der Höhe, wohin sich abwechselnd die Feuchtigkeit gezogen hatte, die weichere Holzmasse zwischen den Jahresringen stark angegriffen und zum Theil zerstört. Hiernach dürfte der reine Sand, und ebenso auch wohl jede beliebige Mischung desselben mit Thon, dem reinen Thone nicht nachstehn. Dagegen sind die vegetabilischen und animalischen Stoffe, besonders wenn sie sich schon in Humus verwandelt haben, sehr nachtheilig. Wo sie die Bohlen berühren, bildet sich bald der Schwamm, der in weit ausgedehnten Ranken und unter den verschiedensten Formen alle Theile des Bohlwerkes, soweit sie über Wasser liegen, durchzieht und zerstört. Man mufs sich daher besonders hüten, eine Erde, welche in dieser Art verunreinigt ist, an das Bohlwerk zu bringen, und es ist sogar keine übertriebene Vorsicht, wenn man selbst Hobelspäne und sonstige Stoffe, die bald in Fäulnifs übergehn, sorgfältig entfernt.

Was dagegen das Durchfallen der Erde zwischen den Bohlen betrifft, so dringt durch enge horizontale Fugen weder der trockne noch der nasse Sand hindurch, und nur in dem Falle, dafs sich bedeutende Wassermassen durchziehn, reifsen diese die Sandkörnchen mit sich. Der übelste Umstand ist hierbei aber, wie bereits erwähnt, der Wellenschlag, der eine ununterbrochene Durchströmung erzeugt, die um so heftiger wird, je gröfsere Oeffnungen sich im Innern bil-

den. In dieser Beziehung leistet auch die Thonwand keinen dauernden Widerstand. Wenn daher das Bohlwerk einem heftigen Wellenschlage ausgesetzt ist, so lassen sich weder die Fugen hinreichend dichten, noch auch kann die Hinterfüllungserde gegen ein starkes Einstürzen gesichert werden. Das einzige Mittel dagegen besteht darin, dafs man in der ganzen Höhe, welche von den Wellen erreicht wird, statt der Hinterfüllung eine regelmäfsige Verpackung von Steinen ohne Anwendung eines feineren Materials anbringt. Auf diese legt man einen dicht schliefsenden Bohlenboden, worauf alsdann die gewöhnliche Erdschüttung ruht. Dieses Verfahren ist indessen nicht nur in der ersten Anlage sehr kostbar, sondern es erschwert auch jede vorzunehmende Reparatur, aber nichts desto weniger sieht man sich zuweilen dazu gezwungen, und namentlich geschieht dieses bei den vorspringenden Ecken der Bohlwerke, welche etwa den Uebergang zu einer flachen Steinböschung bilden. An den Flüssen oder Strömen des Binnenlandes ist eine solche Vorsicht wohl überflüssig.

Wenn die Bohlwerkspfähle etwa auf 8 Fufs Länge oder darüber freistehn, oder wenn der Boden, in welchen sie eingerammt sind, besonders lose ist, so können sie leicht durch den Druck der Hinterfüllungserde herausgedrängt oder übergebogen werden. Man mufs sie alsdann durch Erdanker unterstützen, wenn das Bohlwerk aber durch eine aufgesetzte Wand gebildet wird, so dürfen die Anker auch bei einer geringeren Höhe des Bohlwerkes nicht fehlen. Es wäre kaum zu erwähnen, dafs die Verankerung die nöthige Festigkeit haben mufs, um den Druck der Erde sicher aufzuheben, doch geschieht es nicht selten, und namentlich wenn der Bau auf Entreprise ausgeführt wird, dafs man auf diesen Theil, der durch die Ueberschüttung mit Erde sehr bald dem Auge entzogen wird, die mindeste Sorgfalt verwendet. Es schadet gewifs nichts, wenn man zu den Ankerbalken und Riegeln und selbst zu den Ankerpfählen krummgewachsenes Holz benutzt, aber keineswegs darf dieses aus angefaulten oder solchen Stämmen zugerichtet werden, die durch langes Liegen an der Luft oder im Wasser ihre Festigkeit schon verloren haben. Aufserdem darf man kein Stück zum Erdanker verwenden, welches stark über den Spahn geschnitten ist. In einer hölzernen Kammerschleuse stürzte die neu erbaute, aufgesetzte Wand ein, und die Untersuchung ergab, dafs die Ankerbalken aus krummen

Eichenstämmen so ausgeschnitten waren, dafs in einigen Erdankern keine einzige Faser sich durch ihre ganze Länge hindurchzog. Sie waren daher sämmtlich unter dem Erddruck zerrissen.

Für die sichere Unterstützung der Erdanker mufs mit grofser Vorsicht gesorgt werden. Die Hinterfüllungserde belastet sie, und wenn diese sich setzt, so werden sie von einem starken Druck getroffen, unter dem sie brechen oder sich von der Wand ablösen, die sie halten sollen. Besonders kommt es darauf an, ihren Kopf, woran der Bügel oder die Schraube befestigt ist, die in die Wand eingreift, auf ein Verbandstück der Wand zu legen. Ist dieses nicht geschehn, so bricht die Eisen-Verbindung, oder biegt sich und alsdann spaltet der Erdanker. In beiden Fällen wird die Verankerung gelöst. Ueber die Befestigung des hintern Endes vom Anker wird im Folgenden die Rede sein, doch ist hier die Vorsicht weniger nöthig, weil dasselbe gemeinhin schon auf abgelagertem Boden ruht, bei dem ein starkes Sacken nicht mehr zu besorgen ist. Wenn aber endlich der Anker eine gröfsere Länge hat, so mufs man um sein Durchbrechen zu verhindern, ihn noch in Abständen von etwa 12 Fufs durch besondere Pfähle unterstützen. Schliefslich wäre bei dieser Gelegenheit noch darauf aufmerksam zu machen, dafs bei Verwendung von Rundholz das Stammende gegen die Wand zu kehren ist, weil die gröfsere Stärke desselben die Eisen-Verbindung um so sicherer befestigen läfst.

Es entsteht hierbei ferner die Frage, in welcher Höhe die Erdanker angebracht werden sollen. Da man denselben keine absolut feste Stützpunkte geben kann, und sie daher um so leichter nachgeben, je stärker der Zug ist, dem sie ausgesetzt sind, so ist es im Allgemeinen gewifs vortheilhaft, wenn sie möglichst hoch den Pfahl fassen. Indem nämlich der Bohlwerkspfahl mit dem untern Ende im Boden steckt, so kann man ihn als einen einarmigen Hebel ansehn, dessen Drehpunkt etwa in der Mitte des in der Erde befindlichen Theiles liegt. Der Seitendruck der Hinterfüllungserde bildet die Last und der Zug des Erdankers die Kraft, welche das Gleichgewicht darstellen soll. Auf solche Art ist das statische Moment gegeben, und der erforderliche Zug verhält sich umgekehrt, wie die Entfernung des Angriffspunktes vom Drehpunkte. Es scheint dieses die angemessenste Auffassung der Aufgabe zu sein, man hat sie indessen sonst unter einem ganz verschiedenen Gesichtspunkte

gelöst, und die Bedingung eingeführt, dafs die Tendenz zum Zerbrechen des Pfahles oberhalb und unterhalb des Ankers gleich grofs sein soll. Auf diese Art kommt man zu dem Resultate, dafs der Erdanker in der halben Höhe des freistehenden Theiles angebracht werden mufs, dabei ist aber noch die Voraussetzung gemacht, dafs der Pfahl im Boden ganz feststeht und bei eintretender Bewegung in der Oberfläche desselben abbricht. Diese Auffassung ist indessen gewifs nicht die richtige, und wenn der Grund nicht etwa aus Felsen besteht, so brechen die Pfähle auch niemals ab, sondern neigen sich über, sobald die Anker nachgeben.

Bei Bohlwerksbauten findet keine künstliche Senkung des Wasserspiegels statt, daher kann man die Anker nicht tiefer, als in den Horizont des Wasserstandes zur Zeit des Baues verlegen, da man sie aber möglichst tief senken mag, damit sie theils immer in nasser Erde bleiben, theils auch von dieser kräftig belastet werden, so ist hierdurch in den meisten Fällen die Höhenlage schon bestimmt gegeben. Die Erhaltung der Festigkeit des Holzes ist auch unbedingt die wichtigste Rücksicht.

Ein andrer Umstand, der beim Verlegen der Anker nicht übersehn werden darf, bezieht sich darauf, dafs die Pfähle, welche die festen Stützpunkte bilden, nicht in die frisch aufgeschüttete Hinterfüllungserde, sondern in einen gehörig festgelagerten Boden eingerammt werden müssen, weil sie nur in diesem Falle den nöthigen Widerstand leisten können. Auf solche Art hängt die Länge des Ankerbalkens und ebenso auch die der Ankerpfähle von der Gestaltung des Ufers und der Beschaffenheit des Bodens ab.

Die Verankerung kann auf sehr verschiedene Art bewirkt werden: der Ankerbalken fafst entweder unmittelbar einen einzelnen Bohlwerkspfahl, oder passender einen Balken, der als Zange vor allen Pfählen vorbeigeht und zuweilen mit jedem derselben verbolzt ist. Fig. 34 zeigt die letzte Anordnung. Der Ankerbalken ist dabei nicht nur selbst gehörig unterstützt, sondern es erstreckt sich auch seine Wirksamkeit gleichmäfsig auf die sämmtlichen benachbarten Pfähle. Das Vortreten seines Kopfes und der Zange vor die äufsere Fläche der Pfahlwand ist indessen, wenn gröfsere Schiffe am Bohlwerke liegen sollen, für dieselben leicht nachtheilig, und die vorstehenden Köpfe können auch abgebrochen werden. Man wählt daher zuweilen eine etwas andre Einrichtung, die Fig. 35 zeigt.

Doch mufs dabei bemerkt werden, dafs eben bei dem Bohlwerke in Utrecht, welches diese Figur darstellt, die sämmtlichen Köpfe der Ankerbalken in der Richtung der durchgehenden Schraubenbolzen gespalten waren. Im Ufer waren je zwei Ankerpfähle eingerammt, gegen welche ein kurzer Riegel sich stützte, und auf letzteren war das hintere Ende des Ankerbalkens verkämmt. Diese Befestigungsart ist die gewöhnliche, und gewifs verdient sie wegen ihrer Solidität vor den meisten übrigen den Vorzug.

Fig. 36 stellt eine Verankerung vor, die ich in Antwerpen bei einem Bohlwerk an der Schelde anbringen sah, welches etwa 15 Fufs über Niedrig-Wasser sich erhob. Der Abstand der Pfähle betrug 5 Fufs und ein Pfahl um den andern war verankert. Die Zange liegt hier auf der innern Seite der Bohlwerkspfähle, und zwei Ankerbalken umfassen den Pfahl: sie sind mit demselben nicht nur durch einen Bügel, sondern auch durch einen Bolzen verbunden. Rückwärts liegen beide Ankerbalken auf einem Riegel, in den sie verkämmt und verbolzt sind, und dieser lehnt sich gegen einen einzelnen Ankerpfahl.

Statt die Ankerbalken auf die Riegel zu verkämmen, pflegt man zuweilen die erstern zu durchlochen und die letztern hindurchzustecken, wie Figur 37 zeigt. Diese Anordnung erscheint insofern nicht unpassend, als man bei einer keilförmigen Form des Riegels durch Eintreiben desselben die ganze Verankerung gleich gehörig spannen kann, so dafs bei der darauf folgenden Hinterfüllung mit Erde jede Bewegung des Bohlwerkes verhindert wird, nichts desto weniger mufs man Bedenken tragen, mittelst dieses sehr dünnen Riegels, wenn derselbe auch aus gesundem Eichenholz besteht, den Zug des Ankerbalkens auf die Pfähle zu übertragen, indem derselbe für die Dauer nicht die nöthige Festigkeit behält, auch wird bei dieser Verbindung der Ankerbalken auffallend geschwächt, indem die Feuchtigkeit aus der umgebenden Erde bis zu seinem Kern eindringen kann. Aus demselben Grunde ist auch die Fig. 38 dargestellte unmittelbare Verbindung des Ankerbalkens mit dem Ankerpfahl nicht als zweckmäfsig anzusehn, indem der durchgehende und verkeilte Zapfen gleichfalls zu schwach ist. Die in Fig. 39 angegebene Befestigungsart des Ankerbalkens, welche sich durch eine Verstrebung der Ankerpfähle von den beschriebenen unterscheidet, ist zwar auch für gewöhnliche Bohlwerke vorgeschlagen worden,

doch läfst sie sich selten ausführen, wenn man nicht den Anker weit über den Wasserspiegel verlegen will. Dagegen ist diese Anordnung für Wände von hölzernen Schleusen passender, weil bei deren Ausführung die Baugrube trocken gelegt wird und die untern Enden der Streben unter dem niedrigsten Wasserstande auf die Stützpfähle aufgeklaut werden können.

In den drei letzterwähnten Figuren sind solche Verbindungen dargestellt, wobei die Köpfe der Ankerbalken nicht gehörig unterstützt sind und sonach eine Senkung eintreten mufs. Man kann freilich den Balken noch auf den Bohlen ruhen lassen, wie Fig. 37 zeigt, doch erhält er dadurch keine sichere Unterstützung, und aufserdem vermeidet man es, die Bohlenwand zu durchschneiden, und läfst die Ankerbalken häufig diese nur berühren, ohne dafs sie hindurchgreifen.

In Fig. 38 und 39 sind die Ankerbalken mit den Bohlwerkspfählen durch eiserne Bügel verbunden, in Fig. 37 dagegen durch Schraubenbolzen. Beide Verbindungsarten kommen vor, die letztere ist wohlfeiler, weil man weniger Eisen dabei gebraucht, und sie gewährt auch den Vortheil, dafs man durch scharfes Anziehn der Schraubenmutter gleich die nöthige Spannung der Verankerung geben, und wenn es erforderlich sein sollte, solche auch später wieder darstellen kann. Die vorstehenden Schraubenbolzen sind aber für die Schiffe sehr nachtheilig, und indem die Muttern leicht gelöst und entwendet werden, so ist der Bügel im Allgemeinen vorzuziehn. Da das Eisen, welches der Witterung ausgesetzt ist, bald durch den Rost zu leiden pflegt, so mufs man dem Ankerbügel eine hinreichende Stärke, nämlich von einem halben oder wenigstens von einem Drittel-Zoll geben, und seine Breite darf nicht füglich unter 2 Zoll angenommen werden, da er durch die Bolzen- und Nagellöcher geschwächt wird. Er mufs auch so lang sein, dafs seine Enden wenigstens auf $1\frac{1}{2}$ Fufs Länge den Ankerbalken berühren. Sobald ein starker Erddruck statt findet, sind gröfsere Dimensionen zu wählen. Hiernach ist die Beschaffung der Bügel zwar kostbar, doch läfst sich dieses nicht vermeiden, wenn die ganze Verankerung nicht ihren Zweck verfehlen soll. Wenn man aber starkes Eisen anwendet, so tritt bei spätern Neubauten noch der Vortheil ein, dafs die Bügel zum Theil unbeschädigt sind und wieder gebraucht werden können. Das Aufbrin-

gen der starken Bügel ist insofern schwierig, als sie sich genau an die Pfähle anschliefsen müssen. Sind die Pfähle regelmäfsig beschlagen, so läfst sich dieses leichter erreichen, doch müssen die Kanten im Holze vorher gebrochen sein, weil sich sonst in den scharfen Biegungen des Bügels schwache Stellen bilden. Wenn dagegen die Pfähle aus Rundholz bestehn, wobei häufig der Umfang des Querschnittes auffallend von der Kreisform abweicht, so ist es am Zweckmäfsigsten, dafs man mit einer bleiernen Schiene, die man um den Pfahl und das vordere Ende des Ankerbalkens herumlegt, die passende Form abnimmt und nach dieser Chablone den Bügel ausschmieden läfst, so dafs derselbe beim Aufbringen, also wenn er erkaltet ist, nicht mehr gebogen werden darf. Man bestreicht diesen aber, bevor er noch erkaltet ist, mit Theer, wodurch er etwas gegen Rost gesichert wird. Zur Befestigung des Bügels dienen Nägel und eiserne Klammern, dieselben müssen hinreichend stark sein und mindestens die Länge von etwa 8 Zoll haben. In. Fig. 40 ist eine Klammer und die Art ihrer Befestigung gegen das hintere, etwas umgebogene Ende des Bügels dargestellt. Zweckmäfsiger ist es indessen, statt der Klammern durch beide Enden des Bügels einen Schraubenbolzen hindurchzuziehn. Die Befestigung des Bügels gegen den Bohlwerkspfahl ist nicht nur überflüssig, sondern sogar nachtheilig, weil dadurch eine Schwächung an der Stelle eintreten würde, wo ein Bruch am meisten zu besorgen ist. Was über die nöthige Stärke und Länge des Bügels gesagt ist, gilt auch von der Schiene, die mit dem in Fig. 37 dargestellten Schraubenbolzen verbunden ist.

Nachdem die Haupttheile eines Bohlwerkes beschrieben sind, ist es noch nöthig, von manchen seltener vorkommenden Eigenthümlichkeiten zu sprechen, die in gewisser Beziehung zweckmäfsig erscheinen und daher unter Umständen auch Nachahmung verdienen.

Bélidor *) rühmt das Talent, welches der Director der Fortificationsarbeiten Clement, für Anlagen dieser Art gehabt, und theilt die Beschreibung und Zeichnung eines Bohlwerkes mit, das nach dem Plane desselben in Dünkirchen ausgeführt wurde. Fig. 41. *a* und *b* stellt diesen Bau im Profil und in der Ansicht von oben

*) *Architecture hydraulique III. Chap. XII. §.* 364.

dar. In der letzten Figur ist indessen der Holm abgenommen gedacht, um die Anordnung der Anker deutlicher zu zeigen. Es findet hier eine doppelte Verankerung statt, wie solche bei sehr hohen Bohlwerken auch häufig gewählt wird, beide Reihen von Ankern werden aber von denselben durchgehenden Ankerriegeln gehalten. Das Sacken der Ankerbalken ist nicht nur durch die gehörige Unterstützung derselben an beiden Enden verhindert, sondern sie ruhen aufserdem noch auf je zwei Zwischenpfählen. Der Ankerriegel ist gleichfalls gehörig befestigt, und zwar stehn die Ankerpfähle auch an seiner hintern Seite, so dafs er nicht nur das Bohlwerk gegen den nach aufsen gerichteten Seitendruck der Erde schützt, sondern auch gegen Stöfse, die etwa durch den Wellenschlag oder Schiffe verursacht werden, und wodurch die Wand zurückgedrängt werden könnte. Die letzte Vorsicht ist in Seehäfen keineswegs überflüssig. Eine Spundwand fehlt dem Bohlwerke, dagegen sind auf der innern Seite der Pfähle Faschinen versenkt, welche das Durchfallen der Hinterfüllungserde verhindern sollen. Hierdurch lassen sich zwar die Kosten ansehnlich ermäfsigen, es tritt dabei aber der Uebelstand ein, dafs die Faschinen nach und nach stärker comprimirt werden und daher die Hinterfüllungserde stark zu sacken pflegt. Endlich ist noch auf die 6 Fufs starke Thonwand hinter dem Bohlwerke aufmerksam zu machen.

An Orten, wo die Holzpreise niedrig sind, pflegt man Bohlwerke, die keine grofse Höhe haben, nur aus übereinandergelegten Balken aufzuführen, welche ohne eigentliche Bohlwerkspfähle durch zahlreiche Anker gehalten werden. Diese Construction stimmt nahe überein mit den sogenannten Senkkasten, die man ebensowohl bei Seeufer- und Hafenbauten, wie auch als Regulirungswerke für Gebirgsflüsse anwendet. Fig. 42 *a* und *b* zeigt die Ufereinfassung, die in früherer Zeit im Hafen Neufahrwasser üblich war und wovon einzelne Reste noch vorhanden sind. Die Balkenwand ruht auf Pfählen, die in den untern Balken verzapft und mit hölzernen Nägeln befestigt sind, der Zwischenraum zwischen den Pfählen ist aber auf der innern Seite mit Faschinen ausgefüllt. Die einzelnen Balken liegen stumpf übereinander und berühren sich auch nur stumpf in den Stöfsen, doch sind sie unter sich durch eine grofse Anzahl Spitzbolzen verbunden, die in Abständen von 6 Fufs immer durch je zwei Balken hindurchreichen. Aufserdem wird die Wand

durch Erdanker gehalten, die mit ihren Köpfen schwalbenschwanzförmig zwischen die Balken greifen und hinten auf einen gemeinschaftlichen durchgehenden Riegel aufgekämmt sind. Letzterer wird wieder durch Ankerpfähle gestützt. Die Anker liegen nach Maafsgabe der Höhe der Wand in einer oder zwei, oder auch wohl in drei Reihen übereinander, ihr Abstand in jeder Reihe beträgt 12 Fufs. Wenn ein solcher Bau einen Anlegeplatz für Schiffe bildet, so stehn noch in Abständen von 12 Fufs einzelne Kopfpfähle davor, wodurch die Balkenwand gegen das unmittelbare Aufstofsen der Schiffe gesichert wird. Obgleich diese Construction sehr kostbar ist, so gewährt sie doch bei vorkommenden Reparaturen den Vortheil, dafs die Beschädigungen sich keineswegs auf die sämmtlichen Verbandstücke erstrecken, sondern gewöhnlich nur diejenigen Balken durch neue zu ersetzen sind, welche etwa einen Fufs über dem gewöhnlichen Sommerwasserstande liegen. Auch die eisernen Bolzen halten sich sehr lange, so dafs sie vor dem Wiedergebrauche nur gestreckt und angespitzt werden dürfen.

Die Kopfpfähle, auch Reibepfähle genannt, stellt man häufig vor Bohlwerke, an welche Seeschiffe anlegen. Sie werden eingerammt und oben mit Bolzen befestigt, die aber ganz in das Holz versenkt sein müssen, damit die Schiffe daneben sich heben und senken können, ohne in dieser Bewegung behindert zu werden. Sie dienen sonach nicht nur zum Schutz der Schiffe, sondern auch des Bohlwerkes, da es sonst häufig geschieht, dafs die Schiffe den Holm des letzteren fassen und bei stärkerer Wellenbewegung abheben. Dazu kommt noch der Nutzen, den sie beim Eisgange haben, woher sie auch Eispfähle genannt werden. Wenn nämlich der Eisgang eintritt und grofse Schollen festen Eises vorbeitreiben, so werden die Bohlwerkspfähle leicht stark beschädigt, das Eis wirkt wie eine Säge auf sie ein und bildet einen regelmäfsigen horizontalen Einschnitt, wobei die am weitesten vorstehenden Pfähle auch am meisten leiden. In Pillau wurden bei dem Eisgange fast in jedem Jahre einzelne Pfähle ganz durchschnitten, und die sämmtlichen Bohlwerkspfähle am sogenannten hohen Bohlwerk litten dadurch viel stärker, als durch die Fäulnifs. Eine Verkleidung der Pfähle mit eisernen Schienen, die versucht wurde, war für die Schiffe nachtheilig, und so blieb nur übrig, vor dem Bohlwerke eine Reihe von Kopfpfählen einzurammen. Dieselben waren freilich der Zerstörung

durch das Eis ganz besonders ausgesetzt, sie liefsen sich indessen durch andere ersetzen, ohne dafs man das Bohlwerk selbst aufzunehmen brauchte, und sonach war ihre Erneuung viel weniger kostbar und schwierig, als die der eigentlichen Bohlwerkspfähle, auch hatte es keinen Nachtheil, wenn man dazu krumme oder gewundene Stämme benutzte.

Fig. 43 zeigt den Querschnitt eines Bohlwerkes in Warnemünde, das mit einer vollständigen Pfahlreihe und aufserdem noch mit Kopfpfählen versehn ist. Mit demselben stimmen ziemlich genau die sämmtlichen Bohlwerke in den Mecklenburgischen Häfen und in deren Nachbarschaft überein.

Um ein Beispiel von der Verbindung der Spundwand mit dem Bohlwerk zu geben, wähle ich diejenige Construction, welche in dem Pillauer Hafen seit langer Zeit eingeführt ist, und welche wegen ihrer Einfachheit und Solidität wohl besonders Erwähnung verdient, zugleich sollen bei dieser Gelegenheit noch manche Einzelheiten in Betreff der Ausführung mitgetheilt werden. Das Bohlwerk erhebt sich 6 bis 9 Fufs über den gewöhnlichen Wasserstand, und die beiden Hafenbassins, die es umschliefst, haben eine Wassertiefe von 6 bis 18 Fufs, doch kommt die gröfste Tiefe nicht unmittelbar neben den Bohlwerken vor. Fig. 44 *a* und *b* auf Tafel V. zeigt das Bohlwerk im Querschnitt und in der Ansicht von oben, und zwar bezieht sich die in der ersten Figur angedeutete Erdböschung auf den Fall, dafs das Bohlwerk an einer Stelle ausgeführt werden soll, wo bisher noch keines existirte, oder aber dafs es etwa zur Darstellung einer regelmäfsigeren Fluchtlinie vor das frühere herausgerückt wird.

Der Anfang des Baues wird mit dem Einrammen der Spundwand gemacht. Unter den angenommenen Umständen kann dieses nicht ohne besondere Rüstung geschehn, auf welche die Ramme gestellt wird. Gegen die Rüstpfähle lassen sich auch die Zwingen entweder unmittelbar befestigen, oder sie bieten doch wenigstens Gelegenheit, dafs man dieselben dagegen absteifen oder anziehn und sonach genau einstellen kann. Die Spundwand besteht aus 6 Zoll starken und 20 Fufs langen Pfählen. Ueber das Zurichten und Einrammen derselben ist nach dem, was früher (Theil I. §. 39) gesagt worden, nichts hinzuzusetzen, es mufs aber angeführt werden, dafs, wenn das Bohlwerk bei dem Umbau gegen die frühere Ufer-

linie zurückgezogen werden soll, alsdann nicht nur die Erde abgegraben und sämmtliches Holz des alten Baues entfernt werden mufs, sondern es erleichtert sich die Arbeit des Einrammens der Spundwand auch sehr bedeutend, wenn man in der Richtung derselben einen etwa 5 Fufs tiefen Graben durch Baggern aushebt.

Die Spundwand kann ohne Nachtheil bei einem Wasserstande, der einige Fufse über dem niedrigsten ist, ausgeführt werden, sobald man aber den Bau fortsetzen und den Fachbaum auf die Spundwand aufbringen will, darf dieses nur bei niedrigem Wasser geschehn. Doch auch in diesem Falle mufs die Spundwand wenigstens 6 Zoll tief unter Wasser abgeschnitten werden, damit der Fachbaum fortwährend, wenn auch nicht in seiner ganzen Höhe, doch wenigstens grofsentheils unter Wasser bleibt. Es ist klar, dafs ein Anschneiden von Zapfen, die in den Fachbaum genau eingreifen, im vorliegenden Falle unterbleiben mufs, und selbst die Darstellung einer ganz ebnen Oberfläche wäre nur mittelst einer Grundsäge möglich. Es kommt indessen dabei auf eine grofse Sorgfalt weniger an, und da überhaupt nur in einer geringen Tiefe unter Wasser gearbeitet wird, so kann der Zimmermann mit der Queraxt genau genug diese Arbeit verrichten. Zuerst wird von einer Rüstung, und auf der andern Seite von einem Flosse aus die Spundwand mittelst einer Säge dicht über Wasser abgeschnitten, um das beschwerliche Abhauen nicht auf eine zu grofse Höhe vornehmen zu dürfen. Sodann stellt sich der Zimmermann auf die Spundwand und haut einen Pfahl nach dem andern bis zur vorgeschriebenen Tiefe ab, indem er durch Aufsetzen des Zollstockes sich von der Regelmäfsigkeit der Arbeit überzeugt. In dieser Art läfst sich ohne grofse Schwierigkeit, wenn das Wasser zufällig wachsen sollte, die Spundwand auch noch einen vollen Fufs unter dem Wasserspiegel abschneiden.

Demnächst kommt es darauf an, den Fachbaum aufzubringen. Derselbe mufs aus einem recht festen und starken Balken bestehn, der gewöhnlich eine Höhe und Breite von 15 Zoll hatte. Der Fachbaum mufs sich ferner genau an die Spundwand anschliefsen, damit letztere in ihm eine sichere Stütze gegen den Druck der Hinterfüllungserde findet. Da die Spundwand aber bei unreinem und festem Grunde nicht so regelmäfsig ausgeführt werden kann, dafs die Ränder ihrer obern Fläche gerade Linien bilden, vielmehr hierin

häufig Abweichungen von mehreren Zollen vorkommen, so mufs die vortretende Backe des Fachbaums, wogegen sich die Spundwand lehnt, diese Abweichungen gleichfalls darstellen. Aus diesem Grunde ist es nicht mehr möglich, den Fachbaum mit einer vollständigen Nuthe zu versehn, in welche die Spundwand in ihrer vollen Stärke eingreift, denn in diesem Falle würden die Backen an einer oder der andern Seite zu schwach ausfallen, man mufs sich vielmehr begnügen, nur eine Backe und zwar die äufsere darzustellen, auf die es in der That auch allein ankommt. Selbige mufs aber überall mindestens 6 Zoll breit werden, wogegen der Fachbaum mit seiner innern Seite auch stellenweise mit der Spundwand bündig liegen darf.

Um die Abweichungen in der Richtung der Spundwand von der geraden Linie auf den Fachbaum zu übertragen, schnürt man auf der Oberfläche der ersten, nachdem sie, wie erwähnt worden, dicht über dem Wasser abgesägt ist, die Mittellinie des Fachbaums, oder eine andere damit parallele Linie ab, und indem auf der Rüstung dicht darneben der Fachbaum, und zwar umgekehrt liegt, und die entsprechende Linie auf demselben gleichfalls abgeschnürt ist, so überträgt man von Fufs zu Fufs die Abstände der äufsern Kante der Spundwand auf den letzteren und bezeichnet dadurch die innere Seite der Backe, an welche die Spundwand sich scharf anschliefsen soll. Während nunmehr das Holz neben der Backe auf 6 Zoll Tiefe ausgearbeitet wird, so erfolgt gleichzeitig das erwähnte Abschneiden der Spundwand. Alsdann kann man den Fachbaum auflegen, doch ist es nothwendig, dafs man ihn aufnagelt, um ihn vorläufig zu halten. Zu diesem Zwecke wird er im Abstande von 12 zu 12 Fufs mit einem durchgebohrten Nagelloche versehn, und zwar mufs dieses immer in die Mitte eines Spundpfahles treffen, was sich gleichzeitig beim Uebertragen der äufsern Fläche der Spundwand leicht bewirken läfst. Man bringt den Fachbaum zuerst ungefähr an seine Stelle, und da er schon vom Wasser gehoben wird und er sonach nicht fest liegt, so legt man einige Rüstbohlen vom Ufer aus darüber, und treibt ihn nun mit Schlägeln sowohl der Länge nach an den vorhergehenden Fachbaum, als auch seitwärts an die Spundwand scharf an, und setzt in die Bohrlöcher lange Nägel oder Spitzbolzen ein, die, wenn sie etwa 6 Zoll weit in die Spundpfähle greifen, den Fachbaum vorläufig hinreichend

halten, selbst wenn er ganz unter Wasser liegen sollte. Wenn dieses geschehn ist, kann man mit der Hinterfüllung vorgehen und bis zum Wasserspiegel, oder auch wenig darüber die Erdschüttung darstellen. Man erreicht dadurch nicht nur den Vortheil, dafs man die Rüstungen für den ferneren Bau entbehrt, sondern die frisch angeschüttete Erde wird auch durch die Aufstellung der Utensilien und Materialien und durch 'das Darübergehn der Arbeiter stark comprimirt. Die Fachbäume werden nur stumpf an einander gestofsen, doch ist es gut, sie durch eine aufgenagelte Schiene zu verbinden.

Die vorstehende Beschreibung bezieht sich auf den Fall, dafs der Wasserstand während der Zeit des Neubaues niedrig ist. Trifft dieses nicht zu, und darf man das Fallen des Wassers nicht so bald erwarten, so bleibt nur übrig, bei der ersten Anlage einige Abänderungen eintreten zu lassen, die bei der nächsten Reparatur oder bei Gelegenheit der Erneuung der Bohlwerkspfähle beseitigt werden können. Andrerseits kann es aber auch vorkommen, dafs die ganze Spundwand sich bis zu der beabsichtigten Tiefe nicht einrammen läfst, und man sonach in die Verlegenheit kommt, sie durchweg um mehrere Fufse abzuschneiden, während dieser Theil doch wenigstens dieselbe Dauer verspricht, wie die Bohlenwand, durch welche man ihn ersetzen will. In beiden Fällen schneidet man die Spundwand in der gröfsten Höhe, die sie erhalten kann, horizontal ab, und umfafst sie unter dem obern Rande mit zwei Zangen, die durch Schraubenbolzen mit einander verbunden werden. Diese Zangen versehn die Stelle des Fachbaums, wenn aber die Spundpfähle eine so überflüssige Länge erhalten haben sollten, dafs sie die für das ganze Bohlwerk bestimmte Höhe erreichen, so ist es nöthig, einen Fachbaum darüber zu legen, damit das Hirnholz der Pfähle nicht der Witterung ausgesetzt bleibt, alsdann bedarf aber die Pfahlreihe davor keines Holmes, und die Pfähle sind nur gegen den Fachbaum zu bolzen. Hierher gehört auch der Fall, wenn wegen der geringen Wassertiefe keine Spundwand, sondern nur eine Stülpwand gewählt wird. Diese ist nicht so stark, dafs man einen Fachbaum darauf legen könnte, man legt daher nur eine starke Bohle, oder ein Stück Halbholz gegen ihre äufsere Seite, welches den Seitendruck auf die Bohlwerkspfähle überträgt und worauf die Bohlwand ruht. Die Hinterfüllung darf aber nicht

weit über den dermaligen Wasserstand heraufgeführt werden, bis die Spundwand oder Stülpwand durch eine gehörig verbundene und verankerte Pfahlwand gestützt ist.

Für das Einrammen der Bohlwerkspfähle gewährt der Fachbaum eine grofse Erleichterung, denn nicht nur dafs auf demselben die vordere Schwelle der Ramme sicher aufsteht und bequem verfahren werden kann, so dient er auch zugleich als Lehre beim Setzen und Rammen der Pfähle. Diese Pfähle bestehn in dem vorliegenden Falle aus kiefernen unbeschlagnen Stämmen von 35 Fufs Länge, die mit dem Wipfelende nach unten gekehrt sind. Sie werden im Abstande von 4 zu 4 Fufs eingerammt, doch mufs gleich dafür gesorgt werden, dafs die stärksten und besten Stücke an die Erdanker treffen. Es läfst sich nicht vermeiden, dafs auch die Bohlwerkspfähle aus der beabsichtigten Richtung zuweilen abweichen, und besonders erfolgt dieses, wenn der Grund unrein ist, oder auch wenn die Pfähle nicht gerade sind. Alsdann treffen ihre Köpfe nicht in die Richtung des Holmes, und es kommt sogar vor, dafs sie nach der einen oder der andern Seite bis zu einem vollen Fufse ausweichen. Indem sie etwa auf 20 Fufs frei stehn, so lassen sie sich noch merklich überbiegen, sobald ein starker Zug angewandt wird. Wenn sie sich zu sehr nach dem Ufer hinneigen, so darf man nur einen Baum als Treiblade schräge dagegen stellen und sein oberes Ende durch starkes Aufschlagen herabtreiben, wodurch sie zurückgedrängt werden. Im entgegengesetzten Falle aber, wenn sie sich nach aufsen gezogen haben, so pflegen die Zimmerleute den Pfahl mittelst eines Taues zurückzuwinden. Es wird nämlich ein starkes Tau um den Pfahl und zugleich um einen Schiffshalter oder einen sonstigen festen Gegenstand am Ufer geschlungen und zusammengeknüpft, so dafs es eine lose Schlinge bildet. Sodann steckt man ungefähr in der Mitte einen Knebel durch die Schlinge, den man wie den Arm einer horizontalen Haspel umdreht, wodurch beide Stränge sich um einander winden, und indem dabei eine Verkürzung eintritt, so zieht man den Pfahl sehr kräftig gegen den festen Punkt hin. Ist auf solche Art der Pfahl weit genug herangezogen, so lehnt man den Knebel gegen den Boden, oder befestigt ihn auf andere Art, und nunmehr kann man die Zapfen abschnüren und anschneiden und den Holm aufbringen. Hierbei wird indessen das Tauwerk so stark beschädigt, dafs ein solches Verfahren schon

aus diesem Grunde nicht gestattet werden darf, andrerseits ist aber auch schon früher erwähnt worden, dafs Pfähle, die gewaltsam herübergezogen und alsdann im Holm befestigt werden, immer eine starke Tendenz behalten, ihre frühere Stellung wieder einzunehmen, wodurch sie zum Spalten des Holms leicht Veranlassung geben. Dieses sogenannte Richten der Pfähle wurde daher ganz verboten. Beim Rammen wurde möglichst dafür gesorgt, dafs die Pfähle in der gehörigen Flucht blieben, und wenn ein etwas gekrümmter Pfahl aus derselben stark auszuweichen drohte, so wurde er herausgenommen und durch einen geraden ersetzt, aber sobald der Holm aufgebracht werden sollte, wurden alle Pfähle in derjenigen Stellung verzapft, die sie eben erhalten hatten. Nachdem die Pfähle in der Oberfläche des 6 Zoll hohen Zapfens abgeschnitten waren, wurde die Richtung des Holmes darauf abgeschnürt. Es kam nie vor, dafs sie nach der innern Seite so weit überstanden, dafs die Verzapfung Schwierigkeit gemacht hätte, denn dieses verhinderte schon der Fachbaum der Spundwand, dagegen traten sie zuweilen nach aufsen weit vor, alsdann konnten sie mit einem Blattzapfen am Holme vorbeigreifen und mittelst eiserner Bolzen daran gehörig befestigt werden. Fig. 44 *c* zeigt dieses.

Ueber die Befestigung und Zurichtung des Holmes ist nach dem, was bereits oben gesagt ist, nichts weiter zu erwähnen. Sobald die Pfähle aber auf solche Art unter einander verbunden waren, so kam es darauf an, sie auf der innern Seite zu beschlagen, damit die Bohlenwand in einer Ebene daran gelehnt und befestigt werden konnte. Hierbei zeigte sich nur in Rücksicht auf diejenigen Pfähle eine Schwierigkeit, welche zu weit nach aufsen vortraten. Sie wurden gleichfalls beschlagen, so dafs sich wenigstens eine 9 Zoll breite Fläche daran bildete, da diese aber gegen die äufsere Fläche der Bohlenwand mehr oder weniger zurücktrat, so wurde eine eichene Bohle so bearbeitet, dafs sie die Ungleichheit aufhob und als Futter darüber genagelt. Die letzterwähnte Figur zeigt dieses gleichfalls.

Nunmehr wurde die Verankerung angebracht. Mit Rücksicht auf die oben erwähnten Bedingungen erhielten die Erdanker, die im Abstande von 12 Fufs lagen, ihre passendste Stelle unmittelbar auf dem Fachbaum der Spundwand, während sie mit den hinteren Enden auf der schon gehörig festgelagerten Erde ruhten, welche bei dem Bau nicht frisch angeschüttet war. Man grub letztere soweit

ab, als der Wasserstand es erlaubte und verlegte den 6 Fufs langen Ankerriegel, der nicht eingeschnitten, sondern nur scharf behauen war, und überall kerniges Holz zeigte. Der Ankerbalken war dagegen, wie Fig. 44 *d* zeigt, 5 Zoll tief eingeschnitten, damit er den Riegel gehörig fassen konnte. Ein starker Spitzbolzen mit Wiederhaken versehn stellte zwischen beiden eine innige Verbindung dar, doch mufste, bevor der Anker verlegt wurde, noch dafür gesorgt werden, dafs der Zug, der am verankerten Bohlwerkspfahle dargestellt werden sollte, auch auf den Fachbaum der Spundwand wirken konnte. Wenn daher dieser Pfahl sich nicht scharf dagegen lehnte, so wurde ein eichener Keil dazwischen getrieben. Ueber die Anlegung und Befestigung des eisernen Ankerbügels ist nur noch zu erwähnen, dafs derselbe nicht in der Mitte, sondern etwas näher an der untern Seite des Ankerbalkens angebracht wurde. Dieses geschah zum Theil, um die Nägel und Klammern da zu befestigen, wo das Holz immer nafs blieb, anderntheils und hauptsächlich aber, um die Balken, wie Fig. 44 *d* zeigt, oben noch ausschneiden zu können, damit die untern Gänge der Bohlenwand durch die Anker nicht ganz unterbrochen würden. Wenn auf solche Art die Anker vollständig verlegt und verbunden waren, so erfolgte das Einrammen der Ankerpfähle. Dieses waren gleichfalls unbeschlagene Kiefernpfähle von 12 Fufs Länge, sie waren jedoch an der Seite, wo sie sich gegen die Riegel lehnten, etwas geebnet, und indem man sie scharf dagegen stellte, so brachten sie, indem sie eindrangen, gemeinhin schon die erforderliche Spannung in der ganzen Verankerung hervor. War dieses nicht der Fall, so wurden breite Keile von Eichenholz noch zwischen die Ankerpfähle und die Riegel eingetrieben, wie Fig. 44 *a* und *b* zeigt. Dadurch wurde verhindert, dafs nicht etwa während der Hinterfüllung des Bohlwerkes dasselbe schon etwas übergedrängt würde.

Da die untern Gänge der Bohlenwand gewöhnlich am meisten leiden, und ihre Wiederherstellung wegen des tiefen Aufgrabens der Erde schwierig ist, so wählte ich dazu Halbholz von 6 Zoll Stärke, während darüber 4zöllige und sogar 3zöllige kieferne Bohlen benutzt wurden. Die Fugen liefs ich stets mit gespaltenen schlechten Dielen benageln, und aufserdem wurden die Fugen neben den Ankern und über dem Fachbaume durch angepafste Leisten gehörig gedichtet. Auch ist zu erwähnen, dafs der Kopf der Anker, so-

weit dieses wegen der Bügel möglich war, schwalbenschwanzförmig zugeschnitten wurde, damit die untere stark ausgeschnittene Bohle hier noch eine sichere Haltung behielt.

Wenn man zu denjenigen Bohlwerkspfählen, die auf die Anker treffen, etwas stärkere Stämme aussucht, so ist es möglich, diese jedesmal mit Blattzapfen vor dem Holme vorbeigreifen zu lassen, man beseitigt dadurch die Gefahr, dafs die davor liegenden Schiffe, wenn sie beim Wellenschlage abwechselnd ansteigen, den Holm abheben. Jedenfalls mufs man aber durch übergelegte starke eiserne Bügel die Holme sichern, und diese Bügel dienen alsdann auch zugleich, die obern Gänge der Bohlenwand zu halten. Die letzte Rücksicht ist nicht unwichtig, denn man kann es nicht immer vermeiden, dafs die Hinterfüllungserde sich etwas setzt, und alsdann sind die obern Bohlen, wenn sie nur auf gewöhnliche Art befestigt wurden, leicht loszureifsen. Will man sie daher vor einer Entwendung sichern, so müssen sie noch besonders befestigt werden, und dazu dienen eben die Bügel, die bis zum zweiten oder dritten Gange herabreichen. Nachdem der Holm gehörig ausgetrocknet ist, wird derselbe getheert.

In Betreff der Verankerung der Bohlwerkspfähle ist noch zu bemerken, dafs dieselbe zuweilen auch in entgegengesetzter Richtung wirken mufs. Wenn nämlich Seeschiffe gegen das Bohlwerk gelegt werden, so läfst es sich nicht vermeiden, dafs solche mit Heftigkeit anstofsen, und besonders geschieht dieses beim Einsegeln der Schiffe, wenn ihre Geschwindigkeit nicht in dem Maafse vermindert werden kann, dafs die Berührung leise erfolgt. Für das Schiff, welches eine sehr feste Verbindung in seinen Theilen hat, pflegt ein solches Aufstofsen ohne allen Nachtheil zu sein, bei dem Bohlwerke dagegen werden alsdann die Pfähle zugleich mit den Erdankern zurückgedrängt, und wenn dabei auch kein Bruch erfolgt, so wird doch die Hinterfüllungserde stark aufgelockert und beim nächsten Wellenschlage um so leichter vom durchdringenden Wasser fortgespült. Diesem Uebelstande läfst sich sicher begegnen, wenn man nach Fig. 45 an jedem Erdanker noch einen dritten Pfahl und zwar vor dem Kopfe desselben anbringt, der gleichfalls durch einen angetriebenen Keil in gehörige Spannung gegen den Ankerbalken gesetzt wird. In Holland ist diese Methode nicht ungewöhnlich, auch in Pillau wurde sie vor dem hohen Bohlwerke

vielfach in Anwendung gebracht, weil hier das Gegenstofsen der Schiffe besonders häufig vorkam.

Die hölzernen Ufereinfassungen haben zuweilen nicht den Zweck, die Hinterfüllungserde zurückzuhalten, und dienen alsdann nur zum bequemen Anlegen der Schiffe. In diesem Falle bilden sie nicht eigentliche Bohlwerke, sondern Ladebrücken. Behufs der Flufsschifffahrt werden sie selten ausgeführt, da die gewöhnlichen Uferschälungen ihre Stelle vertreten, und gemeinhin ist die Böschung des Ufers hinreichend steil, dafs die Flufsschiffe bei ihrem geringen Tiefgange so nahe gelegt werden können, dafs mittelst einer leichten Ueberbrückung aus Bohlen die Verbindung darzustellen ist und auf diese Art das Ein- und Ausladen erfolgen kann. Anders verhält es sich aber mit den Seeschiffen, deren Tiefgang eine solche Annäherung nicht immer gestattet. Das Laden und Löschen derselben erfolgt daher, wenn es überhaupt vom Lande und nicht etwa durch Lichterfahrzeuge geschieht, von besondern Ladebrücken aus, die in der Höhe der Uferstrafse soweit herausgeführt sind, dafs das Schiff unmittelbar davor liegen kann. Die gewöhnliche Construction derselben stimmt mit der der Bohlwerke überein, wenn man den untern Theil der letztern vom obern getrennt denkt. Jener bildet die äufsere Einfassung des Ufers und trägt eine aufgesetzte Wand, auf welcher die Ladebrücke aufliegt. Auf der Landseite ruht diese aber auf einem eigentlichen Bohlwerke, welches mit Erde hinterfüllt ist, jedoch zu keiner gröfsern Tiefe, als bis unter Wasser herabreicht. Aufserdem pflegt man noch Kopfpfähle vor die Ladebrücken zu stellen, damit das unmittelbare Gegenstofsen der Schiffe und noch mehr das Aufheben verhindert wird.

Diese Anordnuug findet jedoch nur Anwendung, wenn der Wasserspiegel ziemlich unverändert bleibt, wenn derselbe aber durch den Einfluſs der Ebbe und Fluth in kurzen Zwischenzeiten stark wechselt, so hat gewöhnlich der Strom in der Nähe des Ufers oder der Vorhafen bei niedrigem Wasser eine so geringe Tiefe, dafs alsdann die Schiffe überhaupt nicht liegen können. Die Benutzung der Ladebrücken beschränkt sich in diesem Falle auf die Zeit des Hochwassers. Der Grundbau wird dabei oft ganz entbehrlich. Man böscht das Ufer ab, soweit der Wasserspiegel wechselt und stellt nur die Brücke auf, an welche die Schiffe anlegen. Als Beispiel einer solchen Construction ist in Fig. 46 die Ladebrücke darge-

stellt, welche bei Grangemouth ohnfern der Mündung des Clyde-Kanals an den Ufern des Meerbusens Frith of Forth erbaut ist *). Das Ufer ist mit ein- und einviertelfacher Anlage abgeböscht: in der Entfernung von 19 Fufs von einander sind je zwei Schwellen darüber gestreckt und zwischen denselben sind verstrebte Holzverbindungen ähnlich den Brückenjochen gestellt. Diese sind noch durch je drei Kreuzverbindungen gegenseitig verstrebt, und tragen mittelst leichter Sprengwerke die Brückenbalken, auf welchen der Belag mit dem Steinpflaster ruht. Damit die Schiffe aber nicht etwa unter einzelne Verbandstücke untergreifen und dieselben abreifsen oder den ganzen Bau heben, so findet an der vordern Fläche noch eine gitterförmige Verkleidung statt, und zwar wird diese von aufsen durch verticalstehende starke Bohlen gebildet. Die Einzelheiten der Anordnung ergeben sich aus der Zeichnung. Figur 46 *a* zeigt den Bau von der Stromseite und zwar zur Hälfte, ohne die erwähnte Verkleidung, Fig. 46 *b* den Querschnitt unmittelbar vor einem Joche, Fig. 46 *c* den Querschnitt in der Mitte zwischen zwei Jochen und Fig. 46 *d* die Ansichten von oben in der Höhe der Sprengwerke, der Brückenbalken und des Belages.

Aufser den bisher beschriebenen massiven und hölzernen Uferschälungen kommen auch eiserne vor, wie dieses bereits früher **) erwähnt ist. Von häufiger Anwendung sind dieselben keineswegs, und soviel bekannt, finden sich Beispiele davon nur in England, wo der verhältnifsmäfsig hohe Preis des Holzes einen Ersatz desselben im Gufseisen suchen liefs. Fig. 47 *a*, *b* und *c* zeigt das eiserne Bohlwerk, welches in den Jahren 1833 bis 1834 von Walker und Burges im Ostindischen Dock bei Blackwall erbaut wurde ***). Eine Reihe von hölzernen Pfählen mit davor gebolzten Zangen bildete die Lehre, gegen welche die gufseisernen Bohlwerks- und Spundpfähle gerammt wurden. Die Bohlwerkspfähle stehn im Abstande von 7½ Fufs von einander und haben den Querschnitt, der schon im ersten Theile auf Taf. XVI. Fig. 223 dargestellt ist. Zwischen je zweien derselben befinden sich fünf Spundpfähle, deren

---

*) *Second series of the railway practice, by S. C. Brees.* London 1841. p. 102 ff.

**) Theil I. dieses Handbuchs §. 39.

***) *Transactions of the Institution of civil Engineers.* I. p. 200.

Querschnitt dieselbe Figur zeigt. In den Kopf der Bohlwerkspfähle greift mittelst eines Zapfens eine Verlängerung derselben ein, wodurch sie bis zur Uferhöhe fortgesetzt werden. Drei eiserne Zuganker führen von jedem Bohlwerkspfahle nach einem dahinter eingerammten hölzernen Ankerpfahl und sind hier mit Schraubenmuttern befestigt. Der Zwischenraum zwischen je zwei Bohlwerkspfählen über der Spundwand ist durch gufseiserne Platten geschlossen, wie Fig. 47 *c* zeigt. Auch diese greifen über die Spundwand und überdecken sich gegenseitig durch vorstehende Ränder. Die obern Platten sind hin und wieder mit grofsen Ringen zum Befestigen der Schiffe versehn. Diese Ringe werden durch besondere Zuganker gehalten, und wo sie vorkommen ist die betreffende Platte in ihrer vordern Fläche nicht eben, sondern vertieft gegossen, damit die Ringe vor die Wand nicht vortreten. Endlich ist hierbei zu erwähnen, dafs der Raum zunächst hinter dem Bohlwerke mit Béton ausgegossen ist, wodurch sich eigentlich eine massive Uferschälung bildet, für welche die erwähnte Eisen-Construction nur die äufsere Verkleidung darstellt. Auf dem Béton liegen die Deckplatten und die Steine mit den Wasserrinnen.

Sehr genau dieselbe Construction ist einige Jahre später bei der Werftmauer zu Deptford angewendet, die gröfsere Länge der Zuganker machte es indessen hier nothwendig, sie aus zwei Stücken zusammenzusetzen, und es verdient dabei Erwähnung, wie ein Ring über die Oesen gezogen wurde, um das Oeffnen derselben zu verhindern. Fig. 48 *a* auf Taf. V zeigt diese Anordnung. In derselben Figur Litt. *b* ist noch ein horizontaler Durchschnitt des Bohlwerks in seinem obern Theile gezeichnet, woraus sich die Anbringung der Verstärkungsrippen in den Platten und zugleich die Befestigung der Zuganker in den Bohlwerkspfählen ergiebt.

Bohlwerke werden gemeinhin nur vor solchen Ufern erbaut, wo entweder das Anlegen der Schiffe, oder der hohe Werth des Bodens die Darstellung flacher Böschungen verbietet, sie finden daher vorzugsweise Anwendung innerhalb der Städte oder an andern Punkten, die für den Handel besonders wichtig sind. Wenn sich jedoch die Holzpreise sehr niedrig stellen, wie dieses namentlich in Gebirgsgegenden der Fall zu sein pflegt, so geschieht es wohl, dafs man auf lange Strecken die Ufer mit einer Art von Bohlwerken einfafst, um sie dem Angriffe des Stromes zu entziehn. Man darf

indessen nicht erwarten, den Ufern dadurch einen besonders kräftigen Schutz zu geben, denn wenn die Construction an sich auch fester ist, als die der gewöhnlichen Uferdeckungen, so tritt dagegen vor der steilen Wand eine besonders heftige Strömung ein, die wieder auf die Vergrößerung der Tiefe und dadurch auf die Zerstörung des Baues hinwirkt. Weit regelmäfsiger bilden sich die Profile des Stromes vor flach geneigten Uferdeckungen aus, woher diese im Allgemeinen den Vorzug verdienen. Ist man aber zur Anlage eines Bohlwerks gezwungen, so mufs man sich, wenn dasselbe vom Strome getroffen wird, auf die Zunahme der Tiefe gefafst machen, und sowohl die Bohlwerkspfähle, wie auch die Spundwand gehörig tief einrammen.

Zweiter Abschnitt.

Allgemeine Eigenschaften der Ströme.

§. 7.

Das Strombett.

Es ist schon früher erwähnt worden, dafs die Flüsse und Ströme nicht die ganze Wassermenge abführen, welche in ihrem Gebiete als atmosphärischer Niederschlag herabfällt, weil ein Theil des Regenwassers nicht zu den Flufsbetten gelangt, sondern schon früher verdunstet, ehe es dieselben erreicht. Die an verschiedenen Orten angestellten Beobachtungen über die Quantität des Niederschlages und der Verdunstung, verbunden mit den Messungen der Wassermenge in den Flüssen, bestätigen und erklären zugleich diese Erscheinung. *)

Der Regen oder Schnee trifft im Allgemeinen die ganze Erdoberfläche, und wenn auch keine gleichmäfsige Vertheilung desselben stattfindet, so sind die höher liegenden Gegenden und die Gebirge doch keineswegs davon ausgeschlossen, sondern sie werden im Gegentheil sogar vorzugsweise getroffen. Das Wasser ist dem allgemeinen Gesetze der Schwere unterworfen, es fliefst daher von geneigten Oberflächen herab. Seine grofse Beweglichkeit verbunden mit der Eigenschaft, sehr feine Zwischenräume zu durchdringen, befördert diese Bewegung. Es folgt dem stärksten Abhange oder im Allgemeinen demjenigen Wege, der die mindesten Hindernisse entgegenstellt. Ueber einem undurchdringlichen Boden, oder einem solchen, der schon mit Wasser gesättigt ist, fliefst es sichtbar fort, in durchdringliche Erdschichten dagegen, deren Zwischenräume noch nicht angefüllt sind, und ebenso auch in klüftiges Gestein, zieht es sich hinein, und setzt auch hier langsam seine Bewegung abwärts

*) Vergl. Theil I. §. 6. dieses Handbuches.

fort, bis es das Grundwasser, oder solche Schichten antrifft, die schon mit Wasser gefüllt sind. Hier würde es zur Ruhe kommen und sich immer mehr ansammeln, wenn nicht die grösere Höhe, zu welcher es ansteigt, den Druck vermehrte und dadurch Veranlassung zu neuen Seitenabflüssen gäbe, die am Fuſse der Anhöhe oder in tiefer liegende Thäler austreten. In den letzten vereinigt sich dieses Wasser wieder mit demjenigen, welches auf der Oberfläche herabfloſs und beide speisen gemeinschaftlich denselben Wasserlauf.

Derjenige Theil des Regenwassers, der entweder keinen Abfluſs fand, oder vermöge der Capillar-Attraction in der durchdringlichen Oberfläche zurückgehalten wird, verdunstet, sobald die Trockenheit oder eine höhere Temperatur die Luft zur Aufnahme desselben empfänglich macht. In gleicher Weise gehn auch aus der Oberfläche des bewegten Wassers, soweit dieselbe mit trockner Luft in Berührung kommt, fortwährend Theilchen in diese über. Das Wasser, welches die Bäche und Flüsse bildet, bewegt sich nach den tiefern Stellen der Erdoberfläche hin, und von diesen flieſst es zu den noch tieferen herab, wenn solche in der Nähe vorhanden und ihm zugänglich sind. Kommt es aber in einen, rings mit Anhöhen umschlossenen Kessel, der zunächst keinen Ausweg bietet, so sammelt es sich in diesem an, und wenn nicht etwa die Verdunstung oder auch wohl die Filtration so stark ist, daſs die ganze zufliefsende Wassermenge dadurch absorbirt wird, so steigt es in dem Kessel oder Landsee immer höher, bis es an einer Stelle, wo der umgebende Rand am niedrigsten ist, überflieſst und von Neuem dem Abhange des Bodens folgt. Dieser Lauf hört aber auf, sobald die allerniedrigste Stelle auf der Erdoberfläche erreicht ist. Das Wasser sammelt sich auch hier an, und gelangt zur Ruhe, indem ein ferneres Abfliefsen nicht mehr denkbar ist. Auf solche Art bildet sich der Ocean und derselbe müſste durch den Zufluſs der Ströme sich noch fortwährend ausdehnen, wenn nicht die ganze Wassermenge, welche ihm zugeführt wird, verdunstete und dadurch zu den Anhöhen und dem festen Lande wieder zurückkehrte. Bei der weiten Ausdehnung des Oceans, der ungefähr drei Viertheile der Erdoberfläche bedeckt, verschwindet der Einfluſs, den temporäre Unregelmäſsigkeiten der meteorologischen und namentlich der Temperatur-Verhältnisse auf die Verdunstung und den Niederschlag in einzelnen Zonen periodisch haben. Der unverändert gleiche Stand

des Weltmeeres, den die Beobachtungen zeigen, wenn man die partiellen, theils zufälligen und theils regelmäfsig wiederkehrenden Schwankungen unbeachtet läfst, beweist, dafs die Menge des in der Luft schwebenden und des nach dem festen Lande zurückkehrenden Wassers sich niemals merklich verändert, obgleich immer andre Wassertheilchen in diesen mächtigen Kreislauf gezogen werden, dem die Erde ihren Pflanzenwuchs und ihre Bewohnbarkeit verdankt.

Diese unveränderte Höhe des Wasserstandes im Weltmeere bedingt gewissermaafsen auch eine constante Höhe des Wasserspiegels der mit demselben verbundenen Ströme und Landseen, oder wirkt wenigstens dahin, das Niveau derselben zu reguliren, falls es in Folge reicher oder spärlicher Zuflüsse periodisch steigt oder fällt. Der Abfluſs aus den Landseen nach dem Ocean erhält ein stärkeres Gefälle, wenn die ersteren anschwellen. Dadurch vergröfsert sich die Geschwindigkeit und zum Theil auch der Querschnitt des Stromes, der die Verbindung darstellt, beide Umstände befördern den Abfluſs und so wird das zufällige Anschwellen des Landsees selbst Veranlassung, dafs derselbe bald auf seinen normalen Stand zurückkehrt. Dieselben Verhältnisse, nur im entgegengesetzten Sinne, treten bei einer zufälligen ungewöhnlichen Senkung des Wasserspiegels ein. In beiden Fällen regulirt also die immer gleiche Höhe des Oceans den Wasserstand in den Landseen und zugleich in den dazwischen liegenden Flufsstrecken. Nichts desto weniger kommen hierbei nicht selten sehr auffallende Erhebungen und Senkungen des Wasserspiegels vor, welche zuweilen im Laufe des ganzen Jahres sich nicht ausgleichen, sondern längere Zeiträume umfassen.

Wenn die Landseen mit dem Weltmeere in keiner Verbindung stehn, und ein Ueberströmen des Wassers dadurch verhindert wird, dafs die Verdunstung in der Oberfläche der Seen schon vollständig die Zuflüsse absorbirt, wie dieses in heifsen Climaten möglich ist und zuweilen auch wirklich vorkommt, alsdann verschwindet jene Ausgleichung des Wasserstandes. Eine Reihe von besonders trocknen Jahren senkt den Wasserspiegel, er hebt sich aber wieder zu einer grofsen Höhe, wenn die Zuflüsse lange Zeit hindurch besonders reichlich waren. Solche periodische Schwankungen, welche Decennien und noch gröfsere Zeiträume umfassen, charakterisiren demnach diese abgeschlossenen Landseen. Da gar keine Beziehung zwischen ihnen und dem Ocean stattfindet, so fehlt bei ihnen

jede Normirung der Höhe des Wasserspiegels, und ein solcher See kann eben so gut weit über dem Niveau des Oceans, als unter demselben liegen, auch zeitweise vollständig austrocknen.

Um hiervon ein Beispiel anzuführen, erwähne ich des Caspischen Meeres. Dasselbe bildet einen solchen abgeschlossenen Landsee. Die Wolga, welche gröfser ist, als irgend ein Strom in Europa, ergiefst sich nebst vielen andern mächtigen Zuflüssen in dasselbe, aber dennoch verdunstet diese ganze zugeführte Wassermasse in der weiten Oberfläche des Sees, die gegen 7000 Quadratmeilen umfafst. Die vorwaltende Nässe oder Dürre mehrerer auf einander folgenden Jahre im Gebiete der Zuflüsse bedingt die Höhe des Wasserspiegels, ohne dafs ein normaler Stand sich dafür angeben läfst. Nach den Untersuchungen von Lenz *) stand der See im Jahre 1830 etwa um 10 Fufs niedrieger, als 30 Jahre früher, und im Anfange des achtzehnten Jahrhunderts scheint er noch viel niedriger gewesen, aber in kurzer Zeit gegen 40 Fufs gestiegen zu sein. Dieses ergiebt sich daraus, dafs man bei ruhiger Witterung Ruinen von Gebäuden bemerkt, die jetzt tief unter Wasser liegen. Die Niveaudifferenz zwischen dem Caspischen Meere und dem Azowschen oder dem Schwarzen Meere hat man sehr verschieden angegeben, und dieses nicht etwa nur in Folge der Verschiedenheit im Stande des ersteren, sondern hauptsächlich wegen Ungenauigkeit der vorgenommenen Messungen. Parrot fand, dafs das Caspische Meer etwa 300 Fufs unter dem Wasserspiegel des Azowschen Meeres liegt, doch erregte er selbst später Zweifel gegen die Richtigkeit dieser Angabe. Die spätern Messungen von Fufs, Sawitsch und Sabler ergeben nur die Differenz von 78 Fufs, und zwar wieder in dem Sinne, dafs der Spiegel des Caspischen Meeres unter dem des Mittelländischen liegt.

In noch gröfserer Tiefe fliefst der Jordan in Syrien. Der Spiegel des Tiberias-Sees, den er bildet, liegt nach Russegger 647 Fufs unter dem Mittelländischen Meere und der des Todten Meeres nach Symond sogar 1360 oder nach Russegger 1386 Fufs gleichfalls unter dem Mittelländischen Meere.

Nach vorstehenden Andeutungen über die Bildung der Ströme kann es leicht geschehn, dafs das Wasser bei Verfolgung der Abhänge des Bodens, nach zwei verschiedenen Seiten zugleich abfliefst,

---

*) Poggendorff's Annalen Band 26, Seite 353 ff.

alsdann entsteht eine Spaltung des Stromes. Im Allgemeinen ist freilich zu erwarten, dafs in solchem Falle die beiden Wasserläufe sich nicht gleichmäfsig ausbilden, dafs vielmehr das Bette des einen leichter angegriffen werden wird, als das des andern, und da der stärkere Angriff eine Vergröfserung des Profiles und sonach einen stärkeren Wasserzudrang bedingt, wodurch wieder die Wirksamkeit dieses Armes vermehrt wird, so kann man wohl annehmen, dafs wenn solche Spaltungen auch ursprünglich bestanden, sie nach und nach beseitigt sind, indem der eine Arm sich vergröfserte, während der andre, dessen Zufluſs sich mit der Zeit verminderte, in gleichem Maafse unbedeutender wurde, und endlich ganz aufhörte. Nichts desto weniger sind Verhältnisse dieser Art doch nicht ohne Beispiel, und zwar nicht nur in den Mündungen der Ströme, wo dieses sich häufig wiederholt, sondern auch im Binnenlande, und es kommt sogar vor, dafs mächtige Stromgebiete auf diese Weise schon durch die Natur mit einander in Verbindung gesetzt sind. So verbindet der Casiquiare den Orinoco mit dem Rio Negro, einem Nebenflusse des Amazonen-Stroms. Es tritt durch diesen mächtigen Nebenarm beider Ströme das Wasser aus dem Orinoco in den Rio Negro, und zwar ist die Verbindung so grofsartig, dafs die Binnenschifffahrt auf diesem Wege ohne Hindernifs betrieben wird. Aehnliche Beispiele, wenn freilich in kleinerem Maafsstabe, wiederholen sich mehrfach. Hierher gehört unter andern die bereits erwähnte Verbindung des Arno mit der Tiber durch das Chiana-Thal *). Ich will indessen ein andres Beispiel noch erwähnen, welches ich durch eigne Messungen näher kennen gelernt habe. Die Masurischen Seen im südlichen Theile des Gumbinner Regierungsbezirks entwässern theils nach Norden in den Pregel und theils nach Süden in die Weichsel. In der Kette der gröfseren Seen liegt der Leventin-See am höchsten, und derselbe ergiefst sich theils in den Mauer-See, der dem Flufsgebiete des Pregels angehört, und theils durch mehrere kleinere Seen, nämlich den Gurkel-, Schimon-, Kott-, Taltowischko- und Rhein-Seen neben dem Städtchen Nikolaiken in den Spirding-See. Letzterer speist den sehr bedeutenden Pissek-Fluſs, welcher in den Narew, einen Nebenfluſs der Weichsel, fliefst. Durch blofse Aufräumung einiger flachen Stellen und ohne Anlage von

*) Band I. §. 28.

Schiffsschleusen sind diese Seen in schiffbare Verbindung mit einander gesetzt worden, und es wäre nur nöthig, die Mühle bei Angerberg zu beseitigen, welche den Mauer-See aufstaut, wenn man die kräftigen Zuflüsse aller dieser Seen, und namentlich die des Spirding-Sees dem Pregel wieder zuweisen wollte, dem sie wahrscheinlich vor der Anlage jener Mühle angehörten. Der Mauer-See stand im Herbst 1824 sehr genau eben so hoch, wie der Spirding-See und der Leventin-See lag nur 10 Zoll höher. Diese Niveaudifferenz vergröfsert sich nach den Pegelbeobachtungen in seltenen Fällen bis auf etwa 2 Fufs, sie bleibt aber immer so unbedeutend, dafs sie sich leicht beseitigen liefse. Auf der westlichen Seite, den erwähnten Schifffahrtskanälen gegenüber, besteht durch den Ruden- und grofsen Wonsz-See ohnfern Arys in den Entwässerungsgräben der Sümpfe bei Drosdowen noch eine zweite Verbindung des Leventin-Sees mit dem Spirding-See, und es ist eine auffallende Erscheinung, wenn man hier sieht, wie derselbe Graben an einer Stelle stehendes Wasser enthält, und in nicht weiten Entfernungen zu beiden Seiten nach verschiedenen Richtungen fliefst, und zwar so, dafs sein Wasser den Stromgebieten des Pregels und der Weichsel zugeführt wird.

Auch die Verbindung der Ems mit der Lippe mufs hier erwähnt werden, welche zur Zeit des Hochwassers sich darstellt. Die Fluthen aus dem ersten Strome ergiefsen sich nämlich durch die niedrige Ebene am Fufse des Teutoburger Waldes ohnfern Lippstadt in die Lippe, doch ist dieses Verhältnifs durch manche künstliche Anlagen, wenn auch nicht herbeigeführt, doch sehr befördert worden.

Bei Gelegenheit des Zusammenhanges verschiedener Stromgebiete unter sich ist noch zu bemerken, dafs ein solcher, wenn er auch ursprünglich nicht vorhanden war, sich mit der Zeit darstellen kann. Veranlassung dazu könnte die zunehmende Verwilderung und Erhöhung des Strombettes geben, wodurch der Wasserspiegel in der oberhalb belegenen Strecke so gehoben wird, dafs er über die umgebenden Anhöhen, welche ihn sonst begrenzten, übertritt. Ein Fall dieser Art ist bei Gelegenheit der Beschreibung des Chiana-Thales (Band I. §. 28.) bereits berührt worden, und in der Schweiz war man vor einigen Jahrzehenden sehr besorgt, dafs in dieser Weise

der Rhein seinen Lauf verändern möchte. Die zunehmende Verflachung und Verwilderung des Rheins im Kreise Vorarlberg vor seinem Eintritt in den Bodensee erweckte die Besorgnifs, dafs derselbe durch das Thal bei Sargans in die Senz treten, und durch den Wallenstädter See, die Linth, den Züricher See, die Limmat und Aare einen neuen Abflufs finden könnte. Ein solches Ereignifs wäre ohne Zweifel für die nächsten Umgebungen der benannten Flüsse und Seen und für die in den Thälern belegenen Städte höchst verderblich gewesen, da ein starkes Anschwellen aller dieser Gewässer dabei mit Sicherheit zu erwarten stand. Die in Betreff der Regulirung der fraglichen Rheinstrecke mit der Oesterreichischen Regierung angeknüpften Verhandlungen haben sich lange fortgesetzt, und sind auch vielleicht noch nicht geschlossen, doch ist die Besorgnifs, dafs ein neuer Abflufs sich eröffnen möchte, beseitigt, indem genauere Messungen ergaben, dafs der Rhein noch etwa 80 Fufs über seinen bisherigen höchsten Wasserstand steigen könne, bevor er sich in die Senz ergiefsen würde.

Die vorstehend erwähnten Erscheinungen bezogen sich auf die Ableitung des Wassers, sie erklären, wie die Flüsse, die Landseen und der Ocean sich bilden und die verschiedenen Eigenthümlichkeiten annehmen, welche wir daran bemerken. Die Voraussetzung, dafs die Erdoberfläche in früherer Zeit wasserfrei gewesen sei, ist dabei nur zur Erleichterung des Verständnisses angenommen; die Einführung derselben war aber keineswegs nothwendig, denn man bemerkt leicht, dafs die Verhältnisse, welche hierbei erläutert werden sollten, sich in gleicher Weise herausstellen, wenn man auch voraussetzt, dafs der Erdball früher ganz mit Wasser bedeckt war, und der Ocean im Laufe der Zeit in engere Grenzen zurücktrat. Andre Eigenthümlichkeiten der Flüsse und deren Umgebungen lassen sich aber aus der Betrachtung der ursprünglichen Höhenlage und der Neigungsverhältnisse der Erdoberfläche allein nicht erklären. Namentlich gehört hierher die Ausbildung der Flufsthäler und Flufsbetten, wie sich solche überall und selbst in den Fällen, wo die Kunst noch nicht auf sie eingewirkt hat, darstellen. Ihre Entstehung, verbunden mit einer fast allgemeinen Umgestaltung der Erdoberfläche, die sich noch immer weiter ausbildet, ist allein die Folge der mechanischen und vielleicht auch der chemischen

Kräfte des Wassers. Diese zerstören, wenn auch langsam, doch unwiderstehlich jede feste Oberfläche, und das Ende dieser Wirksamkeit ist nur denkbar, wenn der ganze Erdball planirt sein wird.

In jeder Gebirgsart und selbst in den festesten Felsen, welche das Wasser dauernd trifft, zeigen sich dessen Wirkungen, es greift durch seine chemische Verwandtschaft viele Bestandtheile der Gebirgsarten an, und führt auf diese Weise bei seiner ununterbrochenen Wirksamkeit endlich grofse Massen fort, so dafs Felsbänke, welche Anfangs den Abfluſs hemmten und dadurch ausgedehnte Landseen bildeten, nach und nach verschwinden. Eisschollen und andre vom Wasser fortgetriebene Körper stofsen und reiben zugleich den Damm, der sie hemmt, und tragen gleichfalls zu seiner Zerstörung bei.

Es ist natürlich, dafs ein solches Auswaschen und Abschleifen einer Felsbank sehr langsam vor sich geht, überdiefs ist der ursprüngliche schmalere Kamm des Bergrückens im Laufe der Zeit schon beseitigt und die gröfsere Ausdehnung der im Angriffe stehenden Oberfläche vermehrt den Widerstand. Man darf daher nicht erwarten, dafs ein solches Durchbrechen eines festen Felsriffes jemals wirklich beobachtet sei, und es läfst sich in der That in keinem Falle durch historische Ueberlieferungen nachweisen, dafs ein Strom auf diese Weise sein Bette vertieft habe, und dadurch ein früherer See verschwunden sei. Nichts desto weniger kann dieser Mangel eines historischen Beweises keinen Zweifel gegen die Thatsache selbst begründen, viele Eigenthümlichkeiten der Flufsbetten, die wir heut zu Tage wahrnehmen, lassen sich dadurch allein erklären, und überdiefs steht diese Annahme mit den bekannten chemischen und physikalischen Eigenschaften der Körper im innigsten Zusammenhange. Die tiefen Thäler, welche die Gebirge durchziehn und die Bäche, wenn auch auf Umwegen und mit wechselndem Gefälle, doch in ausgebildeten Betten den Strömen zuführen, sind demnach durch das Wasser selbst zu derjenigen Regelmäfsigkeit ausgebildet, welche sie zeigen. Die Wirksamkeit des Wassers giebt sich hierbei zuweilen auch noch auf andere Weise zu erkennen. Wo die Bode am Fufse der Rosstrappe im Harz den Granit durchbricht, bemerkt man mehrere Nischen in den steilen Ufern, welche wie durch Kunst mit kugelförmiger Ueberdeckung ausgehauen zu sein scheinen. Besonders im linken Ufer zeigt sich eine solche Nische

von etwa 8 Fuſs Weite unmittelbar neben einem kleinen Wasserfall, und sie umgiebt denselben so concentrisch, daſs ihre Decke, so wie die Wände gleichmäſsig von dem aufspritzenden Wasser getroffen werden. Dieser Umstand erklärt ihre Bildung, das Wasser selbst grub sie nämlich durch fortwährendes Aufspritzen im Felsen ein. Andre höher liegende Nischen beweisen, daſs die Bode früher weit über ihrem jetzigen Niveau ähnliche Wasserfälle bildete, und im Laufe der Zeit ihr Bette vertiefte. Ein sicherer Maasstab für die Periode, in welcher die Senkung erfolgte, ist nicht vorhanden, aber man darf jenen früheren Zustand nicht in eine zu entfernte Vergangenheit verlegen, weil sonst der Granit durch den Einfluſs der Witterung die Spuren dieser Einwirkung verloren haben würde.

Sodann sind die senkrechten Felsspalten, auch Klammen genannt, hier zu erwähnen, durch welche Bäche abflieſsen. Man sieht sie nicht selten in Tyrol und in der Schweiz, und besonders häufig haben sie sich im Sandsteine gebildet. Der Bergrücken hemmte den Abfluſs des Baches, und dieser muſste an der niedrigsten Stelle über ihn fortflieſsen. Beim Ueberstürzen griff er aber diejenigen Stellen am meisten an, die vorzugsweise von der Strömung getroffen wurden. So vertiefte sich das Bette immer mehr, und die weitere Ausbildung der Spalten setzt sich ununterbrochen auch noch fort, während die Seitenwände dem Angriffe entzogen sind, und daher eine Verbreitung des Gerinnes nicht erfolgt. Hierbei kann es geschehn, daſs einzelne Stellen dem Wasser schon in Folge einer Fuge im Gestein den Durchfluſs gestatteten, ehe die Spalte vollständig dargestellt war. Alsdann blieb die obere Lage, die vom Wasser nicht weiter angegriffen wurde, unverändert, und gestaltete sich zu einer natürlichen Brücke, wie Humboldt solche in den Cordilleren bei Icononzo sah, unter denen in der Tiefe von 300 Fuſs der Rio de la Summa Paz strömt. Eben so flieſst in Virginien ohnfern Harper's Ferry der Cedar Creek in einer Tiefe von etwa 200 Fuſs unter einer ähnlichen Felsenbrücke.

Auch der berühmte Fall des Niagara, zwischen dem Erie- und Ontario-See, zeigt deutlich die Zerstörung, welche das Wasser an den Felsen ausübt, die seinen freien Abfluſs hindern. Bei der Insel Goat Island stürzt der Niagara, in zwei Arme getheilt, etwa 160 Fuſs tief herab. Das Gebirge, welches sich nicht bedeutend über das Oberwasser erhebt, besteht aus Muschelkalk, der dem Angriff

des Wassers wenig Widerstand leistet. Auf 1½ Meilen Länge unterhalb des Falles ist der Strom in einem engen Thale von steilen, etwa 300 Fuſs hohen Ufern eingeschlossen. Wahrscheinlich waren diese ursprünglich mit einander verbunden, und das Wasser floſs über das Gebirge fort, so daſs der Wassersturz in der Nähe des Ontario-Sees stattfand. Auch diese Zerstörung hat noch keineswegs ihre Grenze erreicht, man bemerkt sogar, wie sie fortschreitet. Nach Basil Hall ist der Wasserfall in 36 Jahren etwa 130 Fuſs weiter stromaufwärts gerückt, und hiernach könnte man vermuthen, daſs ungefähr nach drei Jahrhunderten das Gebirge ganz durchbrochen und dem Niagara ein freier Abfluſs eröffnet sein wird. Die gröſste Tiefe im Erie-See beträgt nur 270 Fuſs, derselbe muſs daher in diesem Falle beinahe ganz aufhören, und es wird sich alsdann hier dieselbe Catastrophe wiederholen, welche wahrscheinlich in Gebirgsgegenden häufig vorgekommen ist, daſs nämlich Seen verschwinden, indem das Wasser den natürlichen Damm, der den freien Abfluſs hinderte, durchbricht. In gleicher Weise kann man annehmen, daſs die Reuss in dem Thale bei Andermatt früher einen See bildete, ehe die Oeffnung durch die Schöllenen ohnfern der Teufelsbrücke sich gehörig vertieft hatte. Auch der Rhein muſste, bevor er bei Bingen zwischen dem Taunus und Hundsrück den Bergrücken durchbrochen hatte, im Rheingau einen weiten See bilden. Zum Verschwinden dieses Sees trug auſserdem auch das Geschiebe und die feineren erdigen Stoffe bei, die hier niederschlugen und die Sohle von Jahr zu Jahr ziemlich gleichmäſsig erhöhten. Wäre Letzteres nicht erfolgt, so würde der See noch gegenwärtig vorhanden sein.

Das Wasser trägt noch in andrer Weise zur Zerstörung der meisten Gebirgsarten bei. Unter den atmosphärischen Einflüssen verwittert nämlich die Oberfläche derselben, und hierdurch bietet sich dem Wasser Gelegenheit, in die gelockerte Masse einzudringen, während sein Eintritt in geschichtetes und zerklüftetes Gestein noch leichter erfolgt. So lange das Wasser sich im flüssigen Zustande befindet, äuſsert es keine oder nur chemische Wirkungen, wenn es dagegen gefriert, so vergröſsert sich sein Volum und sprengt dabei seine Umgebungen. In dieser Weise lösen sich kleinere wie gröſsere Felsmassen, die auf den steilen Abhängen hoher Gebirge in die Bachbetten herabfallen und den Strömen immer neues Material zuführen. So lange das Gefälle noch groſs, also die Strömung stark

ist, reifst das Wasser das grobe Geschiebe mit sich, in dem Maafse wie der Flufs beim Eintritt in die Ebene aber einen sanfteren Lauf annimmt, wird das Material, das er noch in Bewegung setzen kann, immer feiner. Es verwandelt sich in Sand und schliefslich, indem vielfach vegetabilische Stoffe hinzukommen, in den fruchtbaren Marschboden, der sich bis zur See fortsetzt, und hier nach und nach aus der Tiefe heraufwächst. Erscheinungen dieser Art wiederholen sich mehr oder weniger bei allen gröfseren Strömen, sehr auffallend zeigen sie sich auch am Rhein von Bingen abwärts.

Bei dieser Gelegenheit mag wieder daran erinnert werden, wie schnell die Mündungen mancher Ströme von Jahr zu Jahr weiter in die See vortreten. *) Doch keineswegs gelangt alles Material bis zu ihr, vielmehr lagert sich ein grofser Theil desselben schon früher ab und erhöht nicht nur die Flufsbetten selbst, sondern auch die Flufsthäler. Wo Ströme seit längerer Zeit eingedeicht sind giebt sich dieses sehr auffallend zu erkennen. Das künstliche Flufsthal zwischen den Deichen liegt nämlich viel höher, als die Niederung, welche dem Zutritt des Hochwassers durch die Deiche entzogen ist. Gewifs war dieses zur Zeit der Eindeichung nicht der Fall, sondern es ist der Erfolg der spätern Erhöhung des Flufsbettes. Berücksichtigt man noch die verhältnifsmäfsig sehr grofse Menge erdiger Stoffe, die manche Flüsse mit sich führen, so unterliegt es wohl keinem Zweifel, dafs in der unbegrenzten Zeitperiode, seitdem die Ströme fliefsen, weit ausgedehnte Ebenen aufgeschwemmten Bodens durch sie gebildet wurden. Wenn wir aber solche Niederungen heut zu Tage nicht weiter zunehmen, sondern im Gegentheile dem Angriffe des Meeres blosgestellt sehn, wie dieses z. B. bei der äufseren Holländischen Küste der Fall ist, so wäre es keine gewagte Hypothese, anzunehmen, dafs in jener frühen Periode, als der aufgeschwemmte Boden emporwuchs, die Nordsee weniger zerstörend war, als jetzt. Die beiderseitigen Ufer der Meerenge von Calais stehen noch jetzt im Abbruch, und je mehr sie zurückweichen, desto stärker wird die Strömung der eintretenden Fluth. Es ist also sehr wahrscheinlich, dafs diese Strömung früher minder stark, und vielleicht sogar der Canal einst ganz geschlossen war, so dafs die Nordsee nur im Norden von Schottland mit dem Atlantischen Meere in

*) Theil I. §. 24.

Verbindung stand. In diesem Falle hatte die Holländische Küste eine sehr geschützte Lage und wurde von keiner heftigen Seitenströmung getroffen. Die Anlandungen erfolgten also hier eben so, wie in Binnenseen und geschlossenen Buchten.

In den aufgeschwemmten Flufsthälern treten andre Erscheinungen, als in Gebirgsgegenden ein. Der Strom bildet hier weit leichter, als im Felsboden sein Bette aus, und verändert es zugleich viel schneller, als in jenem. Die geringste Ungleichmäfsigkeit der Ufer, oder eine Vertiefung oder Verflachung des Bettes an einer oder der andern Seite, veranlafst schon den Strom, sich bald rechts bald links zu wenden und in Folge seines Beharrungs-Vermögens, welches das Wasser, wie jeden schweren Körper, in gerader Richtung forttreibt, versetzt er abwechselnd seine Ufer in Abbruch. So bilden sich die Krümmungen durch Abbruch der concaven Ufer nach und nach immer weiter und schärfer aus, und indem vor dem gegenüberliegenden convexen Ufer die Ablagerung der vom Strome zugeführten Materialien gewöhnlich in demselben Maafse weiter vortritt, wie die ersteren zurückweichen, so nimmt die Serpentine fortwährend zu, bis sie durch den Angriff des Wassers am Anfangs- und Endpunkte zuletzt wieder durchbrochen wird, und der Strom sich auf diese Art von selbst regulirt. Man könnte vermuthen, dafs das Wasser die Tendenz haben müfste, einen geraden Lauf zu verfolgen, indem dieser die geringste Ausdehnung in der Länge und sonach das stärkste relative Gefälle bedingt. Beim Hochwasser findet dieses auch wirklich statt, und man bemerkt allgemein, dafs die Hauptströmung in solchem Falle, soweit die Höhenlage des Terrains es gestattet, den kürzesten Weg aufsucht, sobald aber das Wasser in das eigentliche Bette zurücktritt, so mufs es demselben folgen, und die Veränderungen desselben sind allein durch zufällige Umstände bedingt, welche auf die Richtung des Stromes Einfluſs haben. Die Thalfläche, welche vom Hochwasser überströmt wird, bedeckt sich in Folge der periodisch wiederkehrenden Inundation gemeinhin mit einem festen Rasen, der ihr einen sichern Schutz gegen den Angriff des Wassers gewährt, und zugleich verhindert, dafs während der kurzen Dauer des Hochwassers ein neues Bette sich bildet.

Ueberhaupt ist die Wirkung des Stromes, wenn er auch mit grofser Heftigkeit über eine ziemlich ebene Thalfläche geht, nur

unbedeutend, wogegen die Veränderungen des Bettes vorzugsweise durch den Abbruch der Ufer veranlafst werden.

Während auf solche Weise das Fufsbette seine Stelle immer verändert, erhöht sich zugleich die mit einer Grasnarbe oder mit Gebüsch bedeckte Thalsohle durch den Niederschlag der feineren Stoffe, die das Hochwasser herbeiführt. Die Vegetation hemmt den Abfluſs der Fluthen durch die Ausdehnung des benetzten Umfangs und vermindert dadurch die Geschwindigkeit des Wassers so sehr, dafs dieses besonders an den mit starkem Pflanzenwuchs bedeckten Stellen die fein zertheilten Erdmassen fallen läfst, welche es schwebend mit sich führte.

Aus der Wirkung der Vergangenheit darf man auf die der Zukunft schliefsen. Die aufgeschwemmten Thäler haben sich bisher erhöht, und die Sohle des Flufsbettes ist der Sohle des Thales gefolgt. Es steht also auch fernerhin eine Aenderung in demselben Sinne zu erwarten, das Gegentheil tritt nur ein, wenn ein natürliches Wehr, wie etwa ein den Strom durchsetzender Felsrücken, der bisher das Wasser vor sich aufstaute, entweder künstlich oder durch die Wirkung der Strömung durchbrochen und dadurch ein ungehinderter Abfluſs eröffnet wird, der in der vorhergehenden Strecke die Vertiefung des Flufsbettes zur Folge hat. Der Einfluſs, welchen ein geregelter Strombau auf die fortschreitende Aenderung des Wasserspiegels ausüben kann, ist nicht in Abrede zu stellen, doch giebt sich derselbe nur insofern zu erkennen, als die Beseitigung einzelner untiefen Stellen, welche bisher das Wasser zurückhielten, auf die Beförderung des Abflusses hinwirkt, und die Sohle des Flufsbettes sich etwas senkt. Der allmähligen Erhöhung des Thales, so weit dieses bei Anschwellungen inundirt wird, ist bisher wohl noch nie eine Grenze gesetzt. Eine solche wäre auch nur denkbar, wenn die Ufer der Ströme und aller Zuflüsse so sicher gedeckt wären, dafs kein Abbruch derselben erfolgen könnte, und selbst das Hochwasser klar, und frei von allen erdigen Theilchen bliebe. Hiernach mufs man annehmen, dafs die Senkung des Wasserspiegels, die man häufig in denjenigen Flüssen wahrnimmt, wo ausgedehnte Correctionsarbeiten unternommen sind, nur temporär ist, und langsam wieder verschwinden wird, wenn die Thäler höher heraufgewachsen sein werden. Es giebt freilich noch ein anderes Mittel, der allgemeinen Erhöhung der Flufsthäler vorzubeugen, und

zwar dadurch, dafs man dieselben der Einwirkung des Wassers durch Deichanlagen entzieht. Die Erfolge hiervon können indessen nicht dauernd den bestehenden Zustand sichern, sie führen vielmehr im Laufe der Zeiten einen weit bedenklicheren herbei. Die Erfahrungen, welche in vielen Gegenden und namentlich in den Niederlanden hierüber gemacht sind, zeigen, wie schon erwähnt, dafs das zwischen den Deichen künstlich eingeschlossene und zum Theil ganz unangemessen beschränkte Flufsthal sich fortwährend erhöht, und das Flufsbette selbst in gleicher Weise nachfolgt. So fliefst der Leck nicht nur bei höheren, sondern auch bei niedrigern Wasserständen in einer unnatürlichen Höhe über dem nebenliegenden abgeschlossenen Terrain, und es wird dadurch theils die Entwässerung des letztren sehr erschwert, theils aber wird auch die Gefahr bei vorkommenden Deichbrüchen fortwährend gröfser, und es ist zu besorgen, dafs einst dieses Verhältnifs aufgehoben werden mufs, wie dieses von Niederländischen Hydrotecten im Anfange dieses Jahrhunderts als das einzige Rettungsmittel für die nebenliegenden Niederungen in Vorschlag gebracht wurde.

In diesem beständigen Wechsel der Verhältnisse, welche grofsentheils durch zufällige Umstände bedingt sind, zeigt sich dennoch eine gewisse Gleichmäfsigkeit. Es giebt in den sich selbst überlafsnen Flufsbetten viele Stellen, welche bedeutend tiefer sind, als andere. Man sollte vermuthen, dafs diese Tiefen eben wegen der schwächeren Strömung eine besonders starke Verlandung erfahren müfsten, aber eine solche zeigt sich nicht und die Tiefe erhält sich dauernd, wenn auch das Bette seine Lage verändert. Andere Stellen dagegen sind den Schiffern, so weit die Nachrichten reichen, als Untiefen bekannt, man hat sie wiederholentlich und manche derselben regelmäfsig bei jedem kleinen Wasser aufgeräumt, aber jedes Hochwasser wirft aufs Neue Steine und Sand darin auf. Zuweilen sind diese Bänke höher als der Spiegel des kleinsten Wassers woher sie, wenn solches plötzlich einträte, momentan den Abfluſs ganz unterbrechen würden, bis der dadurch veranlafste Stau den Wasserspiegel soweit vor ihnen erhebt, dafs die Ueberströmung sich aufs Neue bildet. Das Hochwasser verläuft indessen nur nach und nach, und so geschieht es, dafs sie vom Strome angegriffen werden, und derselbe in ihnen eine Rinne bildet, welche bald dieselbe Tiefe wie früher erhält.

An solchen Stellen haben selbst ausgedehnte Stromcorrectionen oft keinen vollständigen Erfolg, indem sie nur die Erhaltung einer nothdürftigen Wassertiefe bewirken, ohne dafs derjenige Wasserstand erreicht wäre, der sich auf den zwischenliegenden Strecken von selbst bildet. Man bezeichnet diese auffallende Verschiedenheit durch besondere Benennungen, die freilich nicht allgemein angenommen, sondern nur provinziell sind. Die Untiefe heifst häufig Kopf, weil sie aus dem Bette hervorragt, auch die Benennung Furth ist nicht ungewöhnlich, indem gerade hier die Fahrwege durch den Flufs führen. Die zwischenliegenden tiefen Stellen werden am häufigsten Pfuhl und Woog genannt. Das erste Wort erklärt sich leicht durch die geringe Strömung, die zur Zeit des kleinen Wassers hier stattfindet und den Schiffern das Herabfahren erschwert, Woog dagegen soll vielleicht eine Stromstrecke ohne Gefälle bedeuten, die in der Wage liegt. Die Erscheinung ist immer durch äufsere Umstände bedingt, welche von der zufälligen Lage und Gestaltung der Strombetten unabhängig sind. Ich habe mich vielfach bemüht, die Ursachen aufzufinden, und vermuthe, dafs diese fast immer in der gröfsern oder geringern Nähe und der Richtung der höheren Ufer zu suchen sind, welche das Thal und zugleich die Inundation begrenzen. In den meisten Fällen liegt der Pfuhl in der Richtung der Strömung des Hochwassers, und wo letztere das Flufsbette verläfst, oder dasselbe kreuzt, oder wieder hineintritt, bildet sich eine Furth. Zum Entstehn der Furthen geben aufserdem oft Felsriffe Veranlassung, welche das Bette durchsetzen, und häufig sind es endlich die seitwärts einmündenden Bäche, die bei jeder Anschwellung neue Massen von Steinen oder andres Material hier ablagern.

Eine andre gleichfalls auffallende Erscheinung ist es, dafs die sämmtlichen Untiefen oder Furthen eines Stromes nicht selten eine gleiche Wassertiefe haben. Diese Stellen sind es vorzugsweise, deren Tiefe immer beachtet wird, weil die Ladungsfähigkeit der Schiffe durch sie bedingt wird, und man findet oft, besonders nach anhaltend kleinem Wasser, eine überraschende Uebereinstimmung. Es ist freilich nicht in Abrede zu stellen, dafs der Betrieb der Schiffahrt selbst gewissermaafsen auf einen solchen Erfolg hinwirkt, denn wenn der Schiffer eine besonders flache Stelle vorfindet, so versucht er zuweilen durch Aufräumen die Tiefe etwas zu vermehren,

oder er zieht auch wohl an ausgesetzten Ankern das Schiff herüber, und bildet dadurch eine etwas tiefere Furche. Es scheint jedoch, dafs auch der Strom selbst darauf hinwirkt, ein gewisses Minimum der Tiefe überall herzustellen, und bis zu dieser den Sand und die Steine nach und nach fortzuspülen.

Das Gefälle des Stromes, worunter man immer die Neigung des Wasserspiegels versteht, stellt sich nach den angeführten Erscheinungen auf die ganze Länge des Laufes sehr verschieden dar: es ist im Allgemeinen in den Furthen und überhaupt auf den seichteren Stellen viel stärker, als in den tieferen Strecken. Die ersteren aber bilden gewissermaafsen die Festpunkte, wodurch das Gefälle des Stromes im Ganzen normirt wird. Ein allgemein gültiges Gesetz über die Vertheilung des Gefälles läfst sich nicht angeben, wie man ein solches zuweilen nachzuweisen versucht hat. Der gewöhnliche Fall ist es freilich, dafs der obere Theil eines Stromlaufes ein stärkeres Gefälle hat, als der untere. Dieses rührt indessen allein von der Gestaltung der Erd-Oberfläche her, über welche der Strom fliefst, und von der er sich nie weit entfernen kann. Man darf aber keinen Zusammenhang im ganzen Laufe des Stromes oder eine gewisse Tendenz desselben voraussetzen, seinen Wasserspiegel nach einer stätigen Curve zu normiren. Man findet auch nicht selten sehr auffallende Abweichungen von der erwähnten Erscheinung. Der Rhein hat zwischen Carlsruh und Bingen ein viel schwächeres Gefälle, als im Coblenzer und selbst im Cölner Regierungsbezirke. Die Saar und die Mosel haben in den obern Theilen ihres Laufes gleichfalls einen weit geringeren Fall, als weiter abwärts. Augenscheinlich liegt die Veranlassung des stärkeren Gefälles in den Gebirgen, die der Strom durchbrechen mufste, sie bildeten theils an sich schon natürliche Dämme, die den Lauf des Wassers hemmen, theils aber liefern sie auch fortwährend so vieles und so grobes Material, dafs der Strom dasselbe nur beseitigen kann, wenn er stark fliefst. Er wird also durch die gelösten Massen so lange gehemmt, bis das Gefälle stark genug ist, um das Bette aufzuräumen. Sammelt der Flufs dagegen seine Quellen in weit ausgedehnten Sumpfgegenden, die gewöhnlich fast wagerecht liegen, so hat er im ersten Theile seines Laufes nur ein geringes Gefälle.

Wie sehr das Gefälle des Stromes bei verschiedenen Wasserständen sich ändert, ergiebt sich aus den im Folgenden mitgetheil-

ten Wasserstandsbeobachtungen. Der Grund dieser Erscheinung ist darin zu suchen, dafs bei eintretenden Anschwellungen das Abflufsprofil nicht durch das eigentliche Bette, sondern vielmehr durch die Entfernung der höheren Ufer bedingt wird. Es verschwindet sonach in diesem Falle mit dem Steigen des Wassers auch der Einflufs, den einzelne hohe Kiesbänke oder künstliche Wehre äufsern, und im Allgemeinen stellt sich bei hohem Wasser das Gefälle viel gleichmäfsiger dar, als bei kleinem Wasser. Eine Ausnahme hiervon tritt nur ein, wenn die höheren Ufer sehr nahe zusammenrücken, wodurch das Fluthprofil in der Breite beschränkt wird, und sonach ein stärkeres Gefälle erforderlich ist, um die entsprechende gröfsere Geschwindigkeit zu erzeugen. Hierdurch erklärt sich die ziemlich allgemeine Erscheinung, dafs oberhalb der besonders engen Stellen in den Flufsthälern die höchsten Anschwellungen eintreten, und dasselbe ist offenbar auch da der Fall, wo die Einschränkung keine natürliche, sondern durch Eindeichungen oder andre Anlagen und Bauten veranlafst ist.

Endlich mufs bei dieser Gelegenheit noch darauf aufmerksam gemacht werden, dafs das Gefälle, und namentlich für kleines Wasser, durch Stromcorrectionen oft verändert wird. Indem man die Untiefen dadurch beseitigt, dafs man die Sohlen derselben durch verstärkte Strömung angreift, so vertieft sich das Bette, also wird hierdurch dem Wasser ein leichterer Abfluſs eröffnet, und der Wasserspiegel senkt sich etwas. Letzteres läfst sich indessen vermeiden, wenn man durch Beschränkung der Profile in der unterhalb belegenen Strecke durch Verminderung der Breite oder der überflüssigen Tiefe den Wasserspiegel in gleichem Maafse hebt.

§. 8.
Die Ufer.

Es empfiehlt sich, die tiefer und die höher belegenen Theile der Ufer besonders zu betrachten, also diejenigen, die stets unter Wasser bleiben, von denen zu trennen, die nur bei Anschwellungen dem Angriffe des Wassers ausgesetzt sind. Sieht man zunächst von der Wirkung des fliefsenden Wassers ab, so gilt für beide der

bereits §. 1. aufgestellte Grundsatz, dafs der aufgeschwemmte Boden nur in dem Falle sich in dauerndem Gleichgewicht befindet, wenn er nirgend steiler ansteigt, als unter dem der Erdart entsprechenden Reibungswinkel. Dieses gilt sowol für den Boden über, wie unter Wasser. Die betreffenden Reibungswinkel sind jedoch in beiden Fällen nicht dieselben. So läfst sich z. B. der trockne und reine Sand um mehrere Grade steiler anschütten, als dieses unter Wasser möglich ist, wovon der Grund darin zu suchen ist, dafs das Wasser als Schmiere wirkt, und sonach die Reibung vermindert, während die Verminderung des Gewichtes keinen Einfluſs hierauf haben kann. Vorübergehend, jedoch mitunter während einer langen Reihe von Jahren, bis irgend welche störende Einwirkungen vorkommen, können die Ufer über dem Wasser sich viel steiler erhalten. Unter Wasser ist die Dauer eines solchen Zustandes beschränkter, denn soweit das Wasser eindringt, hebt es die Cohäsion auf, und wenn dieses bei sehr festem Thon auch nur langsam erfolgt, so löst sich doch eine dünne Schicht nach der andern, sobald sie jedesmal die äufsere Oberfläche bildet.

Was den höheren Theil des Ufers betrifft, so erhebt sich derselbe zuweilen, wie bereits erwähnt worden, sehr steil und sogar senkrecht, wenn er aus zähem Thon besteht. Wenn er endlich abbricht, so pflegen sich grofse zusammenhängende Massen zu lösen. Man bemerkt zuerst in der obern Fläche Spalten, die anfangs steil herabreichen, unten jedoch in flachem Bogen sich nach dem Abhange wenden. Haben diese Spalten, zu deren Entstehung gewöhnlich Quellen Veranlassung geben, sich vollständig ausgebildet, so stürzt die getrennte Masse herab.

Bei Ufern, die aus einem Gemenge von Thon und Sand bestehn, ist die Erscheinung der beschriebenen noch ähnlich, doch sind die Spalten nicht so steil gerichtet, auch pflegt der Abbruch in geringeren Massen zu erfolgen. Bei reinem Sande oder Kiese ist das Verhältnifs dagegen wesentlich ein andres. Cohäsion tritt bei dem Sande nur ein, wenn derselbe feucht ist, und beim groben Kiese ist sie selbst in diesem Falle sehr geringe. Sie beruht aber allein in der Capillar-Attraction und hört ganz auf, sobald das Wasser an der freien Oberfläche verdunstet. So geschieht es, dafs ein solches Ufer, wenn es durch Abbruch des Fufses eine steile Böschung angenommen hat, sehr schnell einstürzt, indem die ausge-

trocknete Oberfläche keinen Halt hat, und daher bei warmer Witterung ein ununterbrochenes Herabrieseln des Sandes eintritt, bis endlich diejenige Böschung sich dargestellt hat, welche der Reibung entspricht.

In sehr grobem Kiese oder im Steingerölle fehlt die Cohäsion ganz, wenn nicht etwa, wie oft geschieht, bindende Erde dazwischen liegt. Von diesem Falle abgesehn nimmt die Masse sogleich die sichere Lage an, in der sie sich auch später dauernd erhält, bis der Abbruch ihres Fufses das Gleichgewicht stört.

Bei denjenigen Ablagerungen, in welchen nicht, wie in den zuletzt erwähnten, grofse und zusammenhängende leere Zwischenräume vorkommen, wird das Gleichgewicht oft durch den Wechsel des Wasserstandes gestört. In feinen Sand dringt während anhaltend hohen Wassers dasselbe bis zu weiter Entfernung ein, wie man dieses am Steigen des Grundwassers bemerken kann. Wenn alsdann der Strom wieder in seine Ufer zurücktritt, so beginnt der Rückfluſs. Da derselbe aber wegen der Feinheit der Zwischenräume nur langsam von statten geht, und oft dem Fallen des Wassers im Strome nicht schnell genug folgen kann, so entsteht ein starker Druck, der unmittelbar den Einsturz des Ufers veranlafst, oder es bilden sich Quellen, die grofse Sandmassen lösen und dadurch denselben Erfolg herbeiführen. Hierdurch erklärt sich der Einsturz der Ufermauern nach besonders hohen Anschwellungen, auch wenn Bohlwerke das Ufer einfassen, bemerkt man alsdann oft ein starkes Nachsinken der Hinterfüllungserde.

Bei festem Thonboden zeigt sich diese Wirkung des Gegendruckes vom Wasser am auffallendsten. Ist ein thoniges Ufer zur Zeit des Hochwassers durch die starke Strömung in seinem Fufse steil abgebrochen, so steht es häufig so lange der hohe Wasserstand anhält, so unbeweglich, dafs man oft keine Spur von der Zerstörung seines Fufses wahrnehmen kann, sobald aber der Wasserspiegel sinkt und der Gegendruck desselben aufhört, kann der Boden sich nicht mehr halten und stürzt in grofsen Massen nach. Hierdurch erklären sich die sogenannten Kappstürzungen der Deiche, die gewöhnlich bei starkem Fallen des Wassers eintreten. Während des höchsten Wasserstandes hält sich zuweilen der Deich so gut, dafs man keine Anzeichen eines Bruches oder überhaupt einer Gefahr bemerken kann, sobald aber das Wasser schnell fällt, stürzt plötz-

lich die äufsere Dossirung oder auch wohl die Krone oder Kappe des Deiches in den Strom herab. Das Ufer war in diesem Falle unter dem Wasserspiegel so steil abgebrochen, dafs es ohne diesen Gegendruck sich nicht mehr halten konnte.

Auf den unter Wasser liegenden Theil des Ufers übt die Strömung wesentlichen Einfluſs aus. Sehr wichtig ist es aber, dafs man der Zerstörung namentlich in sandigem Boden durch Weidenpfanzungen sehr wirksam begegnen kann. Die feinen Wurzelfasern bilden ein so dichtes Geflecht, dafs die einzelnen Sandkörnchen nicht hindurchfallen können, und eben diese Wurzeln, soweit sie bereits entblöfst sind, in Verbindung mit den von oben herabhängenden Zweigen mäfsigen die Strömung unmittelbar neben dem Ufer, wodurch sich dieses oft lange Zeit hindurch in gutem Zustande erhält, obgleich es ganz steil ist und seine Dossirung vollständig verloren hat. Insofern hierbei ein Wiederauffangen des Sandes nicht denkbar ist, wenn derselbe dennoch ausgespült wird, so mufs man wohl annehmen, dafs auch dieser Schutz nur vorübergehend ist und mit der Zeit der Uferrand doch zurücktritt, besonders wenn der Strom gerade einen starken Angriff darauf ausübt. Nichts desto weniger ist der Nutzen eines solchen Weidengebüsches so augenfällig, dafs dasselbe bei sandigen Ufern sich sehr empfiehlt.

Von grofser Wichtigkeit ist die Beantwortung der Frage, auf welche Weise das Wasser den Fufs eines Ufers angreift, wenn derselbe auch so flach abfällt, dafs er in stehendem Wasser sich halten würde. Ohne Zweifel ist hierzu eine gewisse Kraft erforderlich, und diese kann nur von der Bewegung des Wassers ausgehn. Man darf also im Allgemeinen annehmen, dafs die Wirkung um so gröfser sein wird, je gröfser die Geschwindigkeit ist. Dieses bestätigt auch die Erfahrung, aber es bleibt dabei unentschieden, ob eine regelmäfsige starke Strömung die Ufer angreift, d. h. eine solche, wobei die Wassertheilchen in paralleler Richtung zum Ufer sich mit einer gewissen Geschwindigkeit fortbewegen, oder ob es hierbei weniger auf die Geschwindigkeit der ganzen Wassermasse in der Richtung des Stromes ankommt, als vielmehr auf die partiellen innern Bewegungen und namentlich auf die Wirbel, welche den Ueberschufs der lebendigen Kraft consumiren. Alle Erfahrungen scheinen die letzte Annahme zu bestätigen, ein Zweifel gegen dieselbe rechtfertigt sich nur insofern, als gewöhnlich beide

Arten von Strömung, nämlich die partiellen Wirbel und die allgemeine Geschwindigkeit des Wassers in der Richtung des Stromes, gleichzeitig zu- und abnehmen, und man daher nicht unmittelbar entscheiden kann, welche von beiden man als Ursache des Angriffs der Ufer ansehn soll. In manchen Fällen stellen sich indessen die beiden erwähnten Bewegungen schon getrennt von einander dar, die Erfolge, welche sich alsdann zeigen, sind für die Beantwortung der vorliegenden Frage entscheidend. Ich erwähne hierbei nur des tiefen Kolkes, welcher sich regelmäfsig unterhalb jedes Wehrs zu bilden pflegt, wenn nicht etwa eine sehr feste, künstliche oder natürliche Deckung des Bettes dieses verhindert. Eben wegen der grofsen Tiefe, verbunden mit der grofsen Breite des Profiles in einem solchen Kolke, ist die Geschwindigkeit des Stromes in der Richtung desselben sehr geringe, dennoch sind die Angriffe gegen das Bette und das Ufer hier sehr stark, und was besonders zu bemerken ist, es erfolgt daselbst keine Ablagerung von Geschieben oder feinerem Material. Die innern Bewegungen im Wasser sind es also, welche eine solche Ablagerung hindern, und sogar den Sand oder die sonstigen Körnchen, welche die Oberfläche des Bettes bilden, in Bewegung setzen. Hierzu kommt noch die Erfahrung, dafs das Wasser vorzugsweise diejenigen Stellen des Ufers angreift, gegen welche es bei seiner Bewegung gerichtet ist, und zwar kommt hierbei nicht nur die allgemeine Richtung des Stromes, sondern ebenso und vielleicht vorzugsweise die Richtung der partiellen Strömungen in Betracht. Die Stärke des Angriffes ist aber abhängig von dem Winkel, unter welchem das Wasser aufstöfst, ferner von der Heftigkeit dieses Stofses und endlich von dem Widerstande, den das Ufer nach Maafsgabe der Beschaffenheit und Verbindung seiner Theile ausübt.

Hiernach läfst sich eine Erscheinung, welche die Flüsse und Ströme häufig zeigen und welche mit dem Abbruch der Ufer in der innigsten Beziehung steht, schon erklären, dieses ist die bereits erwähnte Tendenz, Serpentinen zu bilden. Wenn die Hauptströmung, oder was man gemeinhin den Stromstrich zu nennen pflegt, durch zufällige Verflachungen oder Vertiefungen im Bette auf das eine Ufer gewiesen wird, so versetzt sie dasselbe in Abbruch, und es bildet sich alsdann in einer vorher geraden Stromstrecke ein concaves Ufer. Die Hauptströmung befindet sich un-

mittelbar neben demselben, es wird daher die Geschwindigkeit am gegenüberliegenden Ufer geringer, und es erzeugt sich vor diesem eine Untiefe, die sich immer mehr erhöht, so lange das Wasser überhaupt erdige Theile oder schwerere Massen heraufschieben kann. Auf diese Weise ist die Veranlassung zum Entstehn einer Stromkrümme gegeben. Das Wasser, als schwerer Körper, hat die Tendenz, die Richtung seiner Bewegung beizubehalten, sobald es daher in ein, wenn auch nur schwach gekrümmtes Bette tritt, so wird es bei Verfolgung der Richtung, in welcher es sich bewegt, nach dem concaven Ufer geführt. Hier concentrirt sich also die Hauptströmung und gleichzeitig greift sie dieses Ufer dauernd an, so lange es nicht in Folge einer künstlichen Befestigung oder durch Entblöfsung einer natürlichen festen Decke hinreichenden Widerstand leistet. Ohne dafs auf diese Weise dem Angriffe eine Grenze gesetzt wird, ist ein Aufhören desselben nicht denkbar, wenigstens so lange, als der Strom noch dieses Ufer trifft. Man meint freilich zuweilen *), dafs die Abnahme des relativen Gefälles in der ganzen Stromkrümmung, insofern dieses der Ausdehnung der letzteren umgekehrt proportional ist, endlich eine so geringe Geschwindigkeit bedingen müsse, dafs schon dadurch der Angriff gegen das Ufer aufhört. Das Gefälle des ganzen Stromes ist indessen keineswegs durch die Natur so unveränderlich vertheilt, dafs einer Stelle nicht ein gröfserer Theil zugewiesen werden könnte, als sie bisher hatte. Es geschieht auch ohne Zweifel, dafs bei der weitern Ausbildung einer Serpentine der Wasserspiegel in der vorhergehenden Strecke sich hebt, also hier das Gefälle sich ermäfsigt. Der Beweis dafür ergiebt sich aus der Erfahrung, dafs dieser Wasserspiegel sich jedesmal wieder senkt, sobald man die Landzunge in der Serpentine durchsticht, oder dieselbe durchbrochen wird. Es giebt sonach keine bestimmte Grenze, bis zu welcher die Serpentine sich nur ausbilden kann, und bei welcher ein Beharrungszustand eintreten mufs.

Dagegen setzt die Natur selbst der Ausdehnung der Serpentinen auf eine andere Art eine Grenze: sie fixirt dieselben nicht, sondern zerstört sie wieder. Man betrachte eine einfache Serpentine die in einer bisher geraden Stromstrecke sich bildet. Beispielsweise mag das linke Ufer das concave sein, und die tiefe Stromrinne be-

*) *Annales des ponts et chaussées* 1838. I. p. 349.

finde sich unmittelbar neben demselben. Alsdann wird in der Schleife, die nach und nach sich immer weiter ausbildet, das linke Ufer im Angriff liegen. Dasselbe geschieht auch am Ende der Serpentine, woselbst wieder das linke Ufer das concave ist, beide werden angegriffen und weichen zurück. So geschieht es, dafs beide Schenkel sich immer mehr nähern und zuletzt der schmale Landstreifen dazwischen durchbrochen wird. Beispiele dieser Art sind nicht selten an solchen Flüssen, deren Ufer nicht sorgsam unterhalten werden. An der Ems, oberhalb Rheine, wo früher weder die Schiffahrt noch auch die Cultur der Thalfläche Veranlassung zu kostbaren Uferdeckungen geben konnte, hat der Strom sich in dieser Art oft genug selbst regulirt. Im Jahre 1832 zerstörte er eine Serpentine oberhalb Emsdetten, und 1840 in gleicher Weise eine andre Serpentine in der Nähe des Dorfes Veltrup, indem er beide Male die Landzunge wieder durchbrach, die er früher selbst durch die zunehmende Krümmung seines Laufes gebildet hatte. Selbst wo die Erhaltung des Schiffahrtsweges gröfsere Aufmerksamkeit auf die Sicherung der Ufer bedingt, zeigen sich zuweilen die Uferbrüche so plötzlich, dafs die schmalen Landzungen am Fufse der Serpertinen vom Strome beseitigt werden. Dieses geschah z. B. vor vierzig Jahren in der weit ausgedehnten Krümmung der Saale bei Saalhorn in der Nähe ihrer Mündung in die Elbe.

Noch auf andre Weise hört zuweilen die weitere Ausbildung einer Stromkrümmung auf, besonders wenn dieselbe noch nicht weit vorgeschritten war. Eine zufällige Veranlassung lenkt den Strom zuerst gegen das eine Ufer, und versetzt dieses in Angriff, eine ähnliche zufällige Veranlassung kann denselben auch wieder ablenken, und dieses ist besonders leicht möglich, wenn der Abbruch noch nicht bedeutend ist. In dieser Art sieht man nicht selten ein Ufer abbrechen und zurückweichen, während es im nächsten Jahre nicht mehr vom Hauptstrom getroffen wird, uud Alluvionen sich aufs Neue davor ablagern.

Es mufs hier noch darauf aufmerksam gemacht werden, dafs durch den Abbruch der Ufer nicht nur Erde, Sand und gröfsere und kleinere Steine in die Flufsbetten geführt werden, sondern ausserdem auch die Stämme der auf dem Ufer stehenden Bäume. Dieselben schwimmen zwar Anfangs, aber sobald das Holz ganz vom Wasser durchzogen wird, vergröfsert sich sein specifisches Ge-

wicht und es sinkt zu Boden, oder es wird auch wohl, wenn es bei kleinem Wasser vor einer seichten Stelle liegen bleibt, durch Sand und Schlamm so dicht umgeben, dafs es sich bei hohem Wasser nicht wieder heben kann. Hierdurch erklärt sich die grofse Menge von Baumstämmen, die man in den Flufsbetten vorfindet. Als die obere Lippe schiffbar gemacht wurde, hat man eine lange Reihe von Jahren hindurch bedeutende Summen zu diesem Zweck verwenden müssen, und wie die Tiefe des Bettes im Allgemeinen zunahm, zeigten sich immer neue Stämme im Grunde. Auch in andern unserer Ströme, wie in der Weser, der Elbe und der Oder geschieht dasselbe, und wenn die Stämme auch aus den bisherigen Fahrwassern beseitigt sind, so trifft man häufig andre an, sobald man bei einer Strom-Correction ein neues Fahrwasser eröffnet.

Von weit gröfserer Bedeutung ist das Treibholz auf solchen Strömen, welche Urwaldungen durchfliefsen, wo also zum Schutze der Ufer nichts geschieht, und eben so wenig die Bäume gefällt und fortgeschafft werden, ehe der Strom sie forttreiben kann. Namentlich auf dem Missisippi sind diese Stämme nicht nur für die Schifffahrt sehr nachtheilig, welche dadurch einer beständigen grofsen Gefahr ausgesetzt ist, sondern sie bilden auch im Strome und in der Mündung desselben oft grofse Inseln, die wegen ihrer Beweglichkeit zu den auffallendsten Erscheinungen Veranlassung geben. Der losgerissene Baumstamm stürzt in das Wasser, und das grössere specifische Gewicht des Holzes am untern Ende des Stammes und in der Wurzel ist Veranlassung, dafs diese am tiefsten eintaucht, und wo nicht hinreichende Wassertiefe vorhanden ist, zuerst am Grunde sich festsetzt. Nach der Stellung, in welcher diese Bäume angetroffen werden, haben sie von den Schiffern besondere Benennungen erhalten. Zuweilen stehn sie fast senkrecht (Planter), zuweilen werden sie mit der Wurzel nur leicht im Grunde gehalten, und tauchen alsdann abwechselnd mit dem andern Ende unter das Wasser und treten in kurzen Zwischenzeiten daraus wieder hervor (Saweyer). Am gefährlichsten sind sie aber, wenn sie ganz unter Wasser und mit dem Wipfel schräge nach oben und zwar stromabwärts gekehrt im Flusse liegen (Snag). Man kann sie nur an einem leichten Aufwirbeln in der Oberfläche des Wassers erkennen. Für die stromabgehenden Schiffe sind sie weniger schädlich, indem dieselben meist sanft herübergleiten, dagegen stofsen die

stromauffahrenden Dampfschiffe häufig gegen die Spitze des Stammes und erleiden dabei solche Beschädigungen, dafs sie oft sogleich sinken. Die Gefahr ist um so gröfser, als die Stämme vorzugsweise in der Nähe der Ufer liegen, also grade da, wo die zu Berg fahrenden Dampfschiffe sich halten müssen, um dem Hauptstrome auszuweichen. Ueberdiefs finden sie sich keineswegs auf bestimmten Stellen, und daher kann auch der localkundigste Steuermann nicht ein Gegenstofsen verhindern. Das Mittel, welches man anwendet, um dieser Gefahr zu begegnen, besteht nur darin, dafs man im Vordertheile des Schiffes eine wasserdichte Zwischenwand anbringt, wodurch der vordere Raum (Snag Chamber) durch Durchstofsen des Bugs voll Wasser laufen kann, ohne dafs das ganze Schiff sinkt.

Diese Baumstämme finden sich indessen keineswegs nur einzeln vor, sondern oft in grofsen Massen, so dafs sie Inseln und vollständige Wehre (Rafts) bilden, welche der Schiffahrt eine unüberwindliche Grenze setzen. Das grofsartigste Beispiel dieser Art findet sich im Red River, dem letzten bedeutenden Zuflusse des Mississippi. Derselbe würde auf etwa 1000 englische Meilen schiffbar sein, wenn er nicht in der Mitte seines Laufes durch eine derartige Anhäufung von Baumstämmen ganz gesperrt wäre, die wahrscheinlich schon seit Jahrhunderten existirt. Sie erstreckt sich nicht nur von einem Ufer zum andern, sondern sie soll auf 70 englische Meilen Länge den Strom so anfüllen, dafs der Betrieb der Schiffahrt daselbst unmöglich ist *). In ähnlicher Weise ist auch der Atchafalaya-Strom (der eigentlich einen Nebenarm des Mississippi bildet, indem er einen Theil desselben westlich vom Hauptstrome dem Mexicanischen Meerbusen zuführt) auf 10 englische Meilen Länge in seinem Bette mit Baumstämmen überdeckt. Doch auch der Mississippi selbst mit seinen sämmtlichen Mündungen ist mit solchem Holze stellenweise angefüllt, und die Inseln und ein grofser Theil seiner Ufer im untersten Theile seines Laufes bestehn nur aus Baumstämmen. Die Festigkeit eines solchen Bodens ist durch den Niederschlag bedingt, der das Bindemittel für diese Masse ist. Sobald letzteres zufällig fortgespült wird, lösen sich nicht nur einzelne Bäume, sondern ganze

*) *Stevenson sketch of the civil engineering of North-America.* London 1838.

Strecken Landes heben sich und schwimmen davon. Der Major Delafield, Ingenieur vom Platze in Port-Jackson, dem äufsersten rechtseitigen Fort am Missisippi, sammelte hierüber verschiedene Thatsachen, die er dem Congrefs vorlegte. Er sah eine versunkene Goelette, bei der nur die Spitze des Mastes noch über Wasser geblieben war, nach einiger Zeit wieder auf trocknem Lande liegen, dasselbe geschah auch mit den Steinen die aus einem gestrandeten Schiffe, um dasselbe flott zu machen, über Bord geworfen waren. Das untere Stock des Forts wurde eines Tages mit Wasser angefüllt, indem eine solche Schicht in der Nähe sich plötzlich hob und das darüber stehende Wasser seitwärts abfloſs. Besonders in der Nähe der äufsersten Mündungen sieht man nicht selten, wie die Ränder der Inseln sich erheben, die Insel nimmt alsdann eine concave Oberfläche an, das Wasser fliefst zwischen den Stämmen hindurch, spült den Schlamm fort, und bald löst sich der ganze Bau und treibt den Flufs herab. *)

Die Erdmassen, sowie der Sand und die Steine, welche bei der Zerstörung der Ufer in den Strom stürzen, bleiben keineswegs an diesen Stellen liegen, sondern werden durch das Wasser fortgerissen und erzeugen theils die immer wiederkehrenden Untiefen an gewissen Stellen des Stromes, theils aber erhöhen sie nach und nach das ganze Thal, soweit dieses zur Zeit des Hochwassers inundirt wird, oder sie füllen die tiefen Kessel an, welche ursprünglich Binnenseen waren. Ein grofser Theil des Materials folgt indessen so lange dem Laufe des Wassers, als dieses überhaupt fliefst, und sinkt erst zu Boden, wenn es in das Meer getreten ist und seine Geschwindigkeit ganz aufhört. Hierdurch entstehn vor den Mündungen mancher Ströme weit ausgedehnte Verflachungen, die nach und nach über Wasser emporwachsen, und immer weiter herausrücken, indem sie die Länge des Stromlaufes in gleichem Maafse vergrössern. Wenn dagegen die Mündung frei am offenen Meere liegt, so wird der Niederschlag von dem stärkeren Wellenschlage gehoben, die sandigen Theilchen treiben längs der Küste fort, während die fein zertheilte Thonmasse im Wasser schwebend weiter geführt wird, und endlich in gröfserer Tiefe versinkt. Indem aber der Stromlauf

---

*) *Histoire et description des voies de communication aux états unis, par Michel Chevalier.* Paris 1840. I. p. 79 ff.

im ersten Falle sich verlängert, und in der neu gebildeten Strecke das Wasser nur unter einem gewissen Gefälle abfliefsen kann, so ist die Erhebung des Wasserspiegels vor derselben die nothwendige Folge dieser Verlandung.

Die Bewegung der Erde und der Steine in den Flüssen und Strömen erfolgt auf verschiedene Weise. Einige Mineralien, wie das Salz, werden im Wasser aufgelöst und gelangen ohne merkliche Abnahme bis zum Ocean, sie haben also auf die weitere Umgestaltung der Flufsbetten keinen Einfluſs. Der Thon und die vegetabilische Erde werden, sobald der Strom sie aufnimmt, fein zertheilt, und da das Gewicht eines Körnchens seinem cubischen Inhalte oder der dritten Potenz des Durchmessers proportional ist, während der Widerstand, den das Wasser seiner Bewegung entgegensetzt, nur seinem Querschnitte oder der zweiten Potenz des Durchmessers entspricht, so erklärt es sich, wie bei gleichem specifischem Gewichte die kleineren Körner sich weit länger schwebend erhalten und durch die innern Bewegungen des Wassers wieder gehoben werden, während die gröfsern bald zu Boden sinken. Solche Massen, die sich sehr fein zertheilen, veranlassen die Trübung, die man im Flufswasser besonders zur Zeit der Anschwellung auffallend bemerkt, sie scheiden sich nur aus, wenn die Bewegung beinahe ganz aufhört.

Anders verhält sich schon der Sand, er schwebt nur so lange im Wasser, als die innern Bewegungen in Folge einer heftigen Strömung sehr stark sind, und fällt sogleich zu Boden, wie dieselben sich mäfsigen. Dadurch wird er aber dem Einflusse des Stromes keineswegs ganz entzogen, sondern er bewegt sich auch hier langsam fort, indem die einzelnen Körnchen durch den Druck des Wassers auf der Oberfläche des Bettes fortgeschoben werden. Die Bewegung des Sandes läfst sich im klaren Wasser der Bäche und in künstlichen kleinen Kanälen leicht beobachten. Dubuat*) beschreibt dieselbe so genau, dafs eine Uebersetzung der Stelle das deutlichste Bild von der Erscheinung geben wird. Er sagt:

„Die Art, wie das strömende Wasser ein bewegliches Bette bearbeitet und wie es den Sand, den es mit sich führt, weiter schafft, ist höchst bewundernswürdig und verdient beachtet zu wer-

*) *Principes d'hydraulique.* 1. §. 72.

den. Zuweilen entsteht ein Wirbel, der die Erdtheilchen und den feinen Sand mit sich reifst, wie der Wind den Rauch forttreibt: dieses geschieht, sobald die Geschwindigkeit des Wassers so grofs ist, dafs der Stofs die Trägheit der festen Körnchen überwindet. Gewöhnlich ist es aber ein regelmäfsigeres und sanfteres, ich möchte sagen, ein methodisches Verfahren, welches man als ein Meisterstück der Dynamik bewundern mufs."

„Wenn nämlich die Geschwindigkeit des Wassers am Grunde grofs genug ist, um die specifisch schwereren Körperchen noch fortzuschieben oder fortzurollen, so bewegen sich diese nicht stätig und gleichförmig, sondern sie schreiten gleichsam stationsweise vor. Der Sand mag als Beispiel dienen. Besteht die Sohle des Bettes aus einem etwas groben Sande, dessen Körnchen man deutlich verfolgen kann, und beträgt die Geschwindigkeit des Wassers am Grunde 10 bis 12 Zoll in der Secunde, so lagert sich der Sand in der Form jener Gewebe, die unter dem Namen der Ungarischen Spitzen bekannt sind. Er stellt nämlich unregelmäfsige Rücken dar, die sich quer durch den Strom ziehn. Jeder dieser Rücken wird durch zwei Böschungen gebildet, die nach entgegengesetzter Richtung abfallen. Die stromaufwärtsgekehrte fällt sehr sanft ab, wogegen die andre ganz steil ist. Das Profil eines solchen Rückens ist ziemlich ähnlich demjenigen eines Glacis und des verdeckten Ganges bei Festungswerken. In geringer Entfernung vom Fufse der steilen Böschung beginnt die sanfte Ansteigung des folgenden Hügels, und so setzt sich die Bildung stromabwärts fort. Das Sandkörnchen, welches vom Strome getroffen wird, steigt die sanfte Neigung der vordern Fläche heran, und sobald es auf den Scheitel gekommen ist, rollt es durch sein eignes Gewicht an der andern Seite herab. Hier bleibt es ruhig liegen, weil es vor dem Stofse des Wassers gesichert ist. Andre Körnchen machen der Reihe nach denselben Weg und begraben das erste. Diese Bewegung hat viel Aehnlichkeit mit der des Erd-Transportes bei starken Aufträgen, wobei nämlich die Arbeiter die gefüllte Karre auf einem sanft geneigten Wege bis ans Ende des bereits geschütteten Dammes schieben und hier die Erde ausstürzen. Die Sandkörnchen, welche auf solche Weise verdeckt sind, bleiben so lange unter der Last der spätern Ankömmlinge ruhig liegen, bis endlich die ganze Masse des Sandrückens, welchen sie hinter sich gelassen hatten, in einzelne Körnchen zertheilt vor-

übergezogen ist. So schreitet der ganze Rücken in Folge der nach und nach eintretenden Bewegung seiner Theile weiter, und sobald er einen Raum zurückgelegt hat, der seiner Breite gleichkommt, so ist das erste Körnchen wieder frei geworden und befindet sich am Fufse der vordern Böschung. Es ist alsdann aufs Neue dem Angriff des Wassers ausgesetzt, steigt das Glacis wieder herauf, und stürzt wieder wie das erste Mal herab. Diese sehr langsame Bewegung findet bei den sämmtlichen hintereinander liegenden Sandrücken gleichzeitig statt, und bei mäfsiger Geschwindigkeit des Wassers dauert es eine volle halbe Stunde, bis der kleine Hügel von 4 bis 5 Zoll Breite eine solche Station oder eine Strecke, die seiner Breite gleichkommt, zurückgelegt hat. Nimmt die Geschwindigkeit des Wassers zu, so geht die Veränderung schneller vor sich, und im entgegengesetzten Falle langsamer. Durchschnittlich würde aber ein Sandkörnchen zwei Jahre gebrauchen, um ein Lieue (ungefähr $\frac{2}{3}$ Preufs. Meilen) zurückzulegen."

Die Angaben Dubuat's habe ich durch eigne Versuche vollständig bestätigt gefunden. Ich wählte dazu recht feinen Sand, um schon durch eine mäfsige Strömung die Bewegung zu veranlassen, der Sand war aber vorher rein ausgewaschen, so dafs er das Wasser gar nicht trübte und dieses seine volle Durchsichtigkeit behielt. Wenn ein heftiger Strom gegen eine steile Sandböschung traf, wie dieses etwa beim Angriffe der abbrüchigen Ufer der Fall ist, so wirbelte der Sand in der beschriebenen Weise auf, und die Erscheinung hatte eine auffallende Aehnlichkeit mit dem Forttreiben des Rauches zur Zeit eines heftigen Windes. Die hierdurch gelöste Sandmasse folgte dem stärksten Strome und lagerte sich an den Stellen des Bodens, wo die Strömung etwas schwächer wurde. Hier häufte sich bald eine gröfsere Masse an, und in derselben zeigte sich sogleich die von Dubuat bezeichnete Bewegung und die Bildung der Sandrücken. Zur Vervollständigung der Beschreibung dieser letzten Art der Bewegung habe ich noch zuzusetzen, dafs die einzelnen Körnchen nicht etwa in gröfsern Zwischenräumen auf einander folgen, sondern die ganze Oberfläche des Sandrückens ist gleichzeitig in Bewegung und die sämmtlichen freiliegenden Körnchen steigen eines hinter dem andern die flach geneigte Böschung hinauf. Sobald sie den Scheitel erreicht haben, stürzen sie augenblicklich herab, und überdecken sich unmittelbar daneben bis zu solcher

Höhe, dafs sie den neuen Scheitel des Rückens bilden. Bei diesem Fortrücken des ganzen Sandhügels nimmt derselbe indessen an Höhe nicht zu. Dieser Umstand zeigt wieder, dafs nicht nur die Körnchen am Fufse der flachen Böschung in Bewegung gesetzt werden, sondern dafs das Wasser die ganze vordere geneigte Fläche angreift. Man bemerkt in der That, dafs an ihrem Fufse die Anzahl der in Bewegung gesetzten Körnchen viel geringer ist, als weiter nach dem Scheitel hin, wo ein Körnchen das andere berührt oder die ganze Oberfläche in Bewegung ist.

Als ich die vorher regelmäfsigen Wände des künstlichen Canales durch vorgesetzte Blöcke auf verschiedene Weise beengte, um eine grofse Unregelmäfsigkeit in der Strömung hervorzubringen, wurde sogleich an einzelnen Stellen der Sand ganz fortgespült und das Wasser führte denselben im Allgemeinen immer in der Richtung des stärksten Stromes fort, und liefs ihn fallen, sobald die Geschwindigkeit geringer wurde. So bildeten sich lang ausgezogene Sandhügel, auf welchen die Bewegung der einzelnen Körnchen noch ganz in der beschriebenen Art erfolgte. Ein grofser Theil des Canalbodens blieb aber jetzt vom Sande frei, und zwar theils an solchen Stellen, wo die Richtung des Stromes nicht hinwies und sonach der Sand auch nicht hingetrieben werden konnte, theils aber verhinderte an manchen Stellen die Heftigkeit des Stromes, obwohl er grofse Sandmassen mit sich führte, die Ablagerung desselben.

Die Erscheinungen, welche die Flufsbetten zeigen, stimmen genau mit den eben erwähnten überein, auch in ihnen lagert sich der Sand in Bänken ab, welche stromaufwärts flach, stromabwärts dagegen steil abfallen, und diese Bänke bewegen sich, wie man zuweilen beobachtet hat, bei schwacher Strömung langsam mit dem Wasser fort. Zur Zeit des Hochwassers tritt jedoch ein anderes Verhältnifs ein, der starke Strom greift den Sand in grofsen Massen an und treibt ihn schwebend fort, wodurch in ähnlicher Art, wie der kleine Canal bei der Veränderung der Ufer fast plötzlich stellenweise vom Sande entblöfst wurde, auch das Strombette sehr schnell vertieft oder verflacht wird. Die Ablagerungen, die sich bilden, haben auch in diesem Falle noch dieselbe Form, und wahrscheinlich erfolgt in ihrer Oberfläche auch dieselbe Bewegung, aber ihr erstes Erscheinen geschieht viel rascher, als dafs man dabei noch an jene langsame und nur periodisch eintretende Bewegung der

einzelnen Körnchen denken könnte, sie kommen vielmehr mit der Geschwindigkeit des Wassers selbst an, und sinken sogleich zu Boden, wenn die Strömung schwächer wird.

Je gröber das Material ist, um so stärker mufs die Strömung sein, welche dasselbe in Bewegung setzt, daher bezeichnet die Ablagerung des groben Kieses und noch mehr die des schwereren Geschiebes die Richtung des heftigsten Stromes. Man darf aber annehmen, dafs die Strömung oberhalb der Ablagerung stärker war, als unterhalb dieser Stelle, denn nur die verminderte Geschwindigkeit veranlafst die Ablagerung des Materials. So findet man in der Richtung der Hauptströmung des Hochwassers Kies und Geschiebe aufgeworfen, und dieses nicht nur im eigentlichen Flufsbett, sondern auch auf der Thalsohle und selbst auf den nebenliegenden Aeckern, wenn irgend eine Veranlassung war, den Strom hierher zu weisen. Namentlich zeigt sich dieses bei Deichbrüchen, wo unmittelbar nach dem Einsturz des Deiches ein sehr heftiger Strom sich zu bilden pflegt. Man sieht alsdann häufig so groben Kies auf den Wiesen und Aeckern liegen, wie man ihn sonst in derselben Flufsstrecke nicht bemerkt, weil er gewöhnlich nur in der tiefsten Rinne des Bettes bleibt. Diese Ablagerungen von Kies und Geschiebe zeigen in ihrer Oberfläche eine sehr gleichartige Masse, und dieses offenbar deshalb, weil bei der hier eingetretenen Verminderung der Geschwindigkeit im Wasser nur eine gewisse und zwar die schwerste Sorte von Körpern zurückblieb, alle übrigen aber, die leichter beweglich waren, noch weiter trieben. Interessant ist es, dafs die kaum sichtbaren feinen Goldflitterchen, die in manchen Strömen vorkommen, nur so weit ihre Bewegung fortsetzen, als faustgrofse Kiesel, mit denen sie gemeinschaftlich niedersinken. Daher werden die Goldwäschereien am Rhein im Badenschen nur an denjenigen Stellen betrieben, wo die Ablagerungen von dieser Art sind. Die erwähnte Gleichmäfsigkeit des Materials erstreckt sich aber nur auf die Oberfläche, denn in den Zwischenräumen zwischen den Steinen kommt das Wasser zur Ruhe und läfst daselbst auch die feineren Stoffe niedersinken, woher man nach Abräumung der obern Schichten auch Sand und selbst Thon zwischen dem Kiese und den Geschieben zu finden pflegt.

Die Aufhäufung grofser Sandmassen erfolgt wieder auf ähnliche Weise, wenn die Geschwindigkeit noch geringer wird, und

der Thon endlich schlägt nur an solchen Stellen nieder, wo die Bewegung des Wassers fast ganz aufhört. Letzteres geschieht nicht leicht in den Flufsbetten selbst, aber wohl in Seitenbassins, die nur vom Hochwasser angefüllt, aber nicht stark durchströmt werden, vorzugsweise aber erfolgt es auf dem mit Gras bewachsenen Wiesengrunde oder zwischen Pflanzungen, die von keiner starken Strömung getroffen werden. So füllen sich die Gruben am Unterrhein, aus welchen man die Ziegelerde entnommen hat, nach wenigen Jahren wieder mit feinem Thon an, während das Bette selbst und diejenigen Stellen des Thales, wo ein starker Strom zur Zeit des Hochwassers herübergeht, mit Sand und häufig mit Kies bedeckt sind.

Verfolgt man das Bette eines grofsen Stromes auf seine ganze Länge, so ist die Verschiedenheit des Materials, woraus dasselbe besteht, sehr auffallend. Der Rhein führt im Coblenzer Regierungsbezirk sehr grobe Geschiebe mit sich, auch bei Cöln zeigen sich an einzelnen Stellen noch faustgrofse Stücke. Bei Düsseldorf ist der Kies schon viel feiner, gegen die Niederländische Grenze zeigt dieser sich nur selten und die Stückchen haben kaum einen Zoll im Durchmesser. Der Sand gewinnt bei der Ablagerung immer mehr und mehr die Oberhand, und in Holland kommt derselbe nicht nur ausschliefslich vor, sondern die Gröfse der Körnchen vermindert sich auch immer mehr, je weiter man abwärts geht. Die Stufenfolge in der Gröfse des Materials ist daher nicht zu verkennen, und gewifs rührt dieselbe vorzugsweise von der Beschaffenheit der Ufer, und zwar nicht nur des Stromes selbst, sondern auch der Nebenflüsse her. Die Nahe, Lahn, Mosel, Ahr, Sieg, Wipper und Ruhr sind Gebirgsflüsse, welche dem Rhein grofse Massen von Felstrümmern zuführen, die Lippe dagegen liefert ihm nur Sand. Ein zweiter Grund für die Verschiedenheit der Ablagerung ist demnächst aber auch in der Abnahme der Geschwindigkeit zu suchen. Schon oben wurde bemerkt, dafs das Gefälle eines Stromes durch das Gewicht des Materials bedingt ist, welches in sein Bette tritt, so würde der Rhein vor der Mündung mancher Nebenflüsse vollständig gesperrt werden, wenn ihm nicht ein starkes Gefälle hier eine hinreichende Geschwindigkeit ertheilte, um die Steinstücke weiter zu treiben. Andrerseits aber ist die allmählige Abnahme des Gefälles und folglich auch der Geschwindigkeit wieder Veranlassung, dafs zunächst die schwersten Geschiebe, sodann die feineren, ferner der

Kies und endlich nur Sand im Flufsbette vorkommen. Es müfste sich sonach bei einem Strome, der nur im obern Theile seines Laufes mit allen diesen Materialien versehn würde, noch dieselbe Reihenfolge der Ablagerung zeigen, vorausgesetzt, dafs nicht etwa sein Gefälle überall so stark bliebe, dafs er diese Stoffe vollständig, und ohne sie fallen zu lassen, nach dem Meere führen könnte. Wenn man daher auf grofse Strecken das Bette eines Stromes mit Geschieben bedeckt sieht, so ist dieses noch kein Beweis dafür, dafs gar kein Sand oder überhaupt kein feineres Material mit dem Wasser abgeführt wird, und noch weniger darf man annehmen, wie dieses wohl zuweilen geschehn ist, dafs das Geschiebe, wie es vom Strome weiter getrieben wird, sich nach und nach durch Stofsen und Reiben zerkleinert und auf diese Weise zuletzt in Sand verwandelt wird. Es dürfte überflüssig sein, in die Widerlegung dieser Ansicht näher einzugehn, welche mit allen sonstigen Erfahrungen im Widerspruch steht, doch mufs ich anführen, dafs Frisi hierüber besondre Versuche angestellt hat. Derselbe liefs nämlich grobe Flufskiesel theils unmittelbar durch Handarbeit schütteln und stofsen, theils aber brachte er sie in eine Trommel, welche lange Zeit hindurch durch eine Mühle gedreht wurde. Der Erfolg war genau von der Art, wie er sich vorhersehn liefs, die Steine verloren nämlich ihre scharfen Ecken und rundeten sich ab (genau dieselbe Vorrichtung wendet man auch an, um die kleinen Marmor- und Achat-Kugeln darzustellen), das gelöste Material war aber keineswegs Sand, sondern ein sehr fein zertheilter Staub oder Schlamm, nämlich Staub, wenn die Steine trocken, und Schlamm, wenn sie benetzt waren. Bei den vielen Versuchen kam es nur ein einziges Mal vor, dafs ein Stein zerbrach, welcher möglicher Weise schon früher einen Rifs hatte. Wollte man also die erwähnte Ansicht verfolgen, so müfste man annehmen, dafs aus jedem Geschiebe nur ein einziges Sandkörnchen würde, was gewifs Niemand behaupten wird.

Ueber die Ablagerung der Geschiebe und des feineren Materials sind noch einige auffallende Umstände zu erwähnen. Insofern die Richtung der stärksten Strömung keineswegs immer mit dem kürzesten Wege zusammenfällt, sondern vorzugweise durch die Höhenlage des Terrains bedingt wird, so ist diese Richtung, wenn keine sonstigen Veränderungen eintreten, vom Wasserstande abhängig. Das Hochwasser verfolgt häufig Wege, welche beim gewöhnlichen

Wasser vollständig gesperrt sind, und man kann im Allgemeinen annehmen, dafs jede Aenderung des Wasserstandes, namentlich in Stromkrümmungen, schon eine Aenderung in der Richtung des Hauptstroms veranlafst. Es geschieht daher häufig, dafs der Weg für das kleine Wasser oder das eigentliche Flufsbette bei starken Anschwellungen ganz aufser der Richtung der Hauptströmung bleibt, und insofern es alsdann nur ein Bassin zur Seite des Hauptstroms bildet, pflegt es stark verflacht zu werden. Besonders auffallend geschieht dieses an denjenigen Stellen, wo die Strömung das Bette verläfst und wieder in dasselbe eintritt, noch mehr aber, wo sie es kreuzt oder quer herüber geht.

Sehr auffallend gestalten sich aus demselben Grunde auch die Mündungen der Nebenflüsse namentlich, wenn sie ein starkes Gefälle haben und viel Material dem Hauptstrom zuführen. Hiervon wird im Folgenden ausführlich die Rede sein.

Die Inseln sind aus dem eben erwähnten Grunde für den Strom im Allgemeinen höchst nachtheilig, und man mufs sich daher bemühen, ihrem Entstehn vorzubeugen. Es ist mehrfach als Erfahrungssatz ausgesprochen worden, dafs eine Insel sich niemals unmittelbar bildet, sondern jedesmal eine Landzunge, die vom Ufer aus stromabwärts vortritt, durch später erfolgten Abbruch ihres obern Theiles sich zu einer Insel umgestaltet. Ich habe diese Ansicht immer bestätigt gefunden, doch mufs ich bemerken, dafs die erwähnte Landzunge vor ihrem Durchbruche gewöhnlich so niedrig bleibt, dafs sie nur beim kleinen Wasser sichtbar ist, oder sich nur als eine Untiefe oder Bank darstellt. Eversmann hatte in seiner fast 50jährigen höchst erfolgreichen Wirksamkeit am Unterrhein die Inseln nur auf diese Weise entstehn sehn, und niemals bemerkt, dafs eine solche unmittelbar im Strombette selbst erschienen wäre.*) Wenn sich daher auch Verhältnisse denken lassen, unter denen die Anhäufung des Sandes oder Kieses zu einer Insel ohne Zusammenhang mit den Ufern erfolgt, so kommen dieselben gewifs nur sehr selten vor. Gewöhnlich geschieht es, dafs der Strom bei starker Annäherung gegen das eine Ufer dasselbe abbricht und die gelösten Materia-

*) Minard giebt in seinem *Cours de Construction des ouvrages qui établissent la navigation des rivières et des canaux.* Paris 1841. auf Seite 13 dieselbe Erklärung über die Entstehung der Inseln.

lien an der Stelle fallen läfst, wo er in sein früheres Bette zurücktritt. Hier bilden die Stoffe eine Untiefe, welche in Form einer schmalen Zunge vom Ufer aus nach der Mitte des Bettes vortritt, dieselbe bezeichnet die Richtung des stärksten Stroms. Diese Ablagerung wird nach und nach immer höher und sperrt zum Theil das frühere Profil. Hierdurch wird aber der Abfluſs des Wassers behindert, und der Strom versetzt daher wieder das obere Ende der Bank in Abbruch, namentlich wenn in der Zwischenzeit auch der Angriff gegen das Ufer fortdauert und dasselbe noch weiter zurückweicht. Sobald der obere Anschluſs der Untiefe durchbrochen und eine tiefe Rinne hier gebildet ist, so ist die Spaltung des Stromschlauches erfolgt, und der zwischenliegende Grund, den keine von beiden Seitenströmungen direct trifft, der aber von beiden mit Material versehn wird, erhöht sich immer mehr, und sobald er bis zum mittlern Wasserstande herauf gewachsen ist, so findet sich gewöhnlich ein Aufschlag von Weiden darauf ein, welcher noch mehr zur Beruhigung des Wassers beiträgt und dadurch nicht nur die Insel erhöht, sondern sie auch stromabwärts ausdehnt.

Ferner verdient hier noch die starke Ablagerung des feineren Materials neben dem Flufsbette eine besondere Erwähnung. Ist nämlich der Fluſs über die Ufer getreten, so wird in vielen Fällen die Hauptströmung noch im Bette bleiben, der Sand wird also nicht bedeutend weit über die Ufer getrieben, und hier fällt er nieder. Anderntheils treten aber auch die Thontheilchen aus dem eigentlichen Strome viel reichlicher auf die nächsten Theile der Ufer, als auf die entfernteren, und so geschieht es, daſs in beiden Beziehungen jene sich stärker erhöhen, als diese, und man zuweilen eine Art von natürlichen Deichen zur Seite des Flusses findet. Sehr auffallend ist diese Erscheinung unter andern an der obern Lippe, woselbst das Wasser beim Beginn der Anschwellungen durch diese Uferränder verhindert wird, sich sogleich über die Thalfläche zu verbreiten. Am Mississippi und am Nil findet dasselbe statt.

Ohnerachtet dieser Uferränder, welche ohne Zweifel dazu beitragen, den Strom in seinem bisherigen Bette zu erhalten, bemerkt man doch allgemein, daſs die der Inundation ausgesetzten Flufsthäler, selbst wenn sie sehr breit sind, zwischen den sich gegenüber liegenden höhern Ufern, nahe im Niveau liegen und nur Abweichungen von wenigen Fufsen bemerken lassen. Eben so zei-

gen sich auch in ihrer Längenrichtung nur geringe Unregelmäfsigkeiten und sie stellen daher weit ausgedehnte, nahe horizontale Ebenen dar. Die stärksten Erhebungen in ihnen, die freilich oft bedeutend werden, befinden sich an den Stellen, wo gröfsere oder kleinere Seitenzuflüsse einmünden, und Sand oder Kies, auch wohl gröberes Gerölle zuführen. Man mufs hiernach annehmen, dafs der Strom selbst die Eigenschaft besitzt, sein Thal recht regelmäfsig auszubilden, und dieses geschieht in der That, insofern seine Bewegung sowol bei niedrigem, wie bei hohem Wasser nicht gehemmt ist. Das Hochwasser inundirt das ganze Thal und überall tritt eine gewisse Strömung ein, die jedoch nach Maafsgabe der Widerstände auf den verschiedenen Wegen sehr verschieden, und vorzugsweise von der Höhenlage der einzelnen Theile abhängig ist. Zieht sich vielleicht neben dem eigentlichen Flufsbett eine zusammenhängende tiefere Rinne hin, so wird diese stark durchströmt, und in Folge dessen auch eine Masse Material ihr zugeführt. Befinden sich darin aber einzelne höhere Stellen, so ist auf diesen die Strömung so stark, dafs kein Niederschlag daselbst erfolgt, um so bedeutender zeigt sich dieser aber in den darauf folgenden Vertiefungen, und da das Hochwasser in sehr verschiedenen Höhen das Thal unter Wasser setzt, so bilden sich bald hier, bald dort die Seitenströmungen aus und der Erfolg ist jedesmal, dafs die besonders tief gelegenen Flächen am meisten aufwachsen. Dazu kommt noch, dafs auch das eigentliche Flufsbette, welches das kleine Wasser abführt, keineswegs unverändert seine Lage behält, vielmehr, so lange es nicht künstlich in seinen Ufern gehalten wird, fortwährend durch Abbruch derselben seinen Lauf verändert. Es kann sogar geschehn, dafs Seiten-Strömungen zur Zeit des Hochwassers tiefe Rinnen ausreifsen, welche das kleine Wasser aufnehmen. Da aber Veränderungen dieser Art nur an den niedrigsten Stellen des Flufsthales denkbar sind, so liegt hierin eine neue Veranlassung solche dem stärkeren Niederschlage zugänglich zu machen. In dieser Weise füllen sich die Vertiefungen im Thale bei allen Wasserständen mehr an, als die höher belegenen Stellen, und sonach wird bei der allmähligen Erhöhung der ganzen Thalfläche jede grofse Unebenheit ausgeglichen.

§. 9.
Seiten-Zuflüsse.

Indem nachstehend von den Wirkungen die Rede sein soll, welche die in den Hauptstrom eintretenden Bäche und Flüsse auf denselben ausüben, so mufs die Bemerkung vorangeschickt werden, dafs derjenige Bach, den man als den Anfang des späteren Stromes ansieht und mit gleichem Namen bezeichnet, sich in nichts von den später hinzukommenden Seiten-Zuflüssen unterscheidet, woher die folgenden Bemerkungen auch auf ihn Anwendung finden.

Wenn die Seiten-Zuflüsse ihre Quellen auf mäfsigen Landflächen sammeln, so werden letztere wegen ihrer geringen Gröfse und besonders wenn sie von Gebirgszügen umschlossen sind, doch in ihrer ganzen Ausdehnung zuweilen von sehr heftigen Niederschlägen getroffen, und sie führen alsdann, wie schon früher erwähnt (Theil I. §. 7. und 26.), viel gröfsere Wassermassen ab, als man bei dem mäfsigen Quellengebiete erwarten sollte. Wenn zugleich der Boden den Abfluſs begünstigt und die einzelnen Rinnen starkes Gefälle haben, so strömen diese Wassermassen sehr schnell dem Bache zu und veranlassen nicht nur in dem Seiten-Zuflusse, sondern auch in dem Strome, der diesen aufnimmt, höchst nachtheilige Ueberschwemmungen. Solche treten nicht ein, wenn das Wasser zunächst in einem ausgedehnten See sich ansammelt, dessen Wasserspiegel es nur wenig erhebt, und aus dem es daher auch viel langsamer wieder abfliefst. In diesem Falle verschwindet also nicht nur die Gefahr der hohen Anschwellungen, sondern es tritt dabei noch der sehr günstige Umstand ein, dafs die angesammelten Wassermassen den untern Flufslauf dauernd reichhaltig speisen, wodurch die Culturen und sonstige öconomische und industrielle Verwendungen des Wassers begünstigt werden.

Hiernach liegt die Idee sehr nahe, solche Seen, wenn sie nicht existiren, künstlich darzustellen. In geringem Maafse geschieht dieses schon bei allen Wassermühlen, die mit Mühlenteichen versehn sind. In weit gröfserem Maafsstabe hat man aber in neuerer Zeit einige Anlagen in Frankreich ausgeführt, die wenn sie zum Theil auch dazu dienen, industriellen Etablissements das Betriebswasser

dauernd zuzuführen, doch vorzugsweise den Zweck haben, die unterhalb belegenen Gegenden vor Inundationen zu schützen.

Die Idee hierzu wurde namentlich durch die zerstörenden Ueberschwemmungen angeregt, die im Jahre 1856 im südlichen Frankreich sich vielfach wiederholten. Die Academie der Wissenschaften und Künste zu Bordeaux stellte daher eine hierauf gerichtete Preisfrage, und unter der grofsen Anzahl von Bewerbungen wurde die des Ingenieur Vallés prämiirt. In derselben wird die Möglichkeit zur Beseitigung dieser Gefahren unter Bezeichnung der betreffenden Anlagen ausführlich erörtert und zugleich nachgewiesen, welcher Gewinn für die Industrie dabei zu erwarten steht, woher die betreffenden Etablissements den gröfsten Theil der Kosten tragen würden.*)

Unter den Anlagen dieser Art mag diejenige erwähnt werden, welche den Höllenschlund (*gouffre d'Enfer*) im Furens-Bache schliefst. **) Letzterer entspringt in dem Gebirge von Charolais zwischen der Rhone und Loire, und ergiefst sich oberhalb St. Etienne in die Loire. Zwischen die hier sich nahe tretenden beiderseitigen Ufer, die aus Granit bestehn, ist die Abschlufsmauer aus Bruchsteinen in Cement-Mörtel ausgeführt. Ueber die Fundamente erhebt sie sich von der Thalsohle 133,8 Fufs hoch, ihre Krone mifst 19,1 Fufs in der Breite, wogegen sie unten 126,4 Fufs stark ist: hiervon liegen 22,3 Fufs unter der aufwärts, und 85 Fufs unter der abwärts gekehrten Böschung, beide Böschungen bilden aber cylindrische Flächen, so dafs die Neigungen unten flacher sind als oben. Auf diese Mauer ist noch eine Brustmauer von 16 Fufs Höhe und 9,5 Fufs Stärke gestellt, die in aufserordentlichen Fällen gleichfalls vor sich das Wasser aufstaut. Wenn das Bassin davor ganz gefüllt ist, nimmt es eine Fläche von 37 Morgen ein und faſst über 58 Millionen Cubikfufs. Sollte der Bach bei besonders heftigem Niederschlage in der Secunde 1000 Cubikfufs Wasser zuführen, was doch kaum

---

*) *Études sur les inondations par M. F. Vallés.* Paris 1857.

**) Der Erbauer dieses Werkes, der Ingenieur Graeff, hat dasselbe in den *Annales des ponts et chaussées* 1866. I. p. 184 beschrieben. Der Baurath Röder, der im Auftrage des diesseitigen landwirthschaftlichen Ministeriums diese so wie einige andre ähnliche Anlagen besichtigte, hat darüber, so wie auch über die Fluthverhältnisse der Loire sehr interessante Mittheilungen gemacht in Erbkam's Zeitschrift für das Bauwesen. Jahrg. XVII. 1867. Seite 377.

anzunehmen ist, so würde das Bassin, wenn es leer wäre, 16 Stunden hindurch die ganze zufliefsende Wassermenge aufzunehmen im Stande sein. Zur Abführung derselben dienen zwei 18zöllige gufseiserne Röhren in der Sohle der Mauer, welche von der Brustmauer aus beliebig durch Klappen geöffnet und geschlossen werden können. Die Kosten der ganzen Anlage, die allein 10 500 Schachtruthen Mauerwerk enthält, belaufen sich auf 1 300 000 Thaler. Es ist gewifs nicht in Abrede zu stellen, dafs sie den dabei beabsichtigten Zweck erfüllen wird, nämlich die unterhalb belegenen Gegenden vor den Inundationen, so weit sie von diesem Bache herrühren, zu sichern, und die aufgefangene Wassermenge den Fabriken nach Bedürfnifs zuzuführen, wenn man indessen auch von den sehr grofsen Anlage-Kosten absieht, so dürfte sich doch nur selten ein Thal finden, welches die Gelegenheit zu ähnlicher Leistungsfähigkeit einer solchen Anlage bietet. Wollte man aber aufserhalb der Gebirge Anlagen dieser Art ausführen, so würden die Kosten in Bezug auf Grundentschädigungen und Eindeichungen sich so übermäfsig steigern, dafs man davon wohl ganz absehn müfste.

Die Seiten-Zuflüsse äufsern demnächst häufig noch eine andre und zwar eine höchst nachtheilige Wirkung auf den Hauptstrom, indem sie demselben grofse Massen Erde, Sand, Kies und selbst gröberes Geschiebe zuführen, welche sowol bei kleinem, wie bei hohem Wasser den Abflufs hemmen, und dadurch nicht selten zu ausgedehnten Versumpfungen Veranlassung geben. Der Hauptstrom selbst greift zwar auch, so lange er nicht regulirt ist, seine Ufer an, und namentlich zur Zeit des Hochwassers stürzen zuweilen sehr grofse Erdmassen in ihn herab, doch bleiben dieselben meist nicht an den Stellen, wo sie niederfielen, vielmehr treibt die Strömung sie weiter, und da im Allgemeinen Abbrüche und Verlandungen sich das Gleichgewicht halten, so wird der Strom dadurch weniger benachtheiligt, wozu noch kommt, dafs bei Regulirungen auch Uferdeckungen vorgesehn werden, um neuen Verwilderungen vorzubeugen. Anders verhält es sich mit den Bächen und kleinern Nebenflüssen, indem diese nicht schiffbar sind, so fehlt es an genügender Veranlassung, ausgedehnte Uferdeckungen darin vorzunehmen, besonders wenn die umgebenden Ländereien wenig Werth haben. Dieses ist vorzugsweise in Gebirgsgegenden der Fall, während gerade hier die Wasserrinnen sehr starke Gefälle haben und daher

bei Anschwellungen sehr schwere Stoffe mit sich führen, die wegen ihres grofsen Gewichtes vom Hauptstrome nicht mehr in Bewegung gesetzt werden können, die sonach vor der Ausmündung liegen bleiben und das Bette theilweise oder ganz sperren.

In welcher Weise man diesen Uebelständen in flachem Lande begegnen kann, wird im Folgenden mitgetheilt werden, da das Verfahren zur Sicherung der Bachufer kein andres ist, als dasjenige welches unter gewöhnlichen Umständen auch bei gröfsern Strömen Anwendung findet. Hiervon kann in Gebirgsgegenden jedoch nicht Gebrauch gemacht werden, wo gerade die Verwüstungen durch die herabgeführten Erd- und Steinmassen am gröfsten sind. Ich mag nur erwähnen, dafs im Sommer 1869 ein unbedeutender Bach, der sich bei dem Dorfe Lungern im Canton Unterwalden in den See gleiches Namens ergiefst, nach einem vorhergehenden sehr starken Regen die Gärten in seiner Nähe, wie die Strafse bis 10 Fufs hoch mit Gerölle überschüttet hatte, wodurch mehrere Gebäude eingedrückt und umgestürzt waren. Aehnliche Verwüstungen ereignen sich nicht selten in der Schweiz, und vielfach werden neben den Dörfern hohe Rücken gezeigt, die oft eine Ausdehnung von mehreren Morgen haben, und von denen man weifs, dafs sie durch diesen und jenen Bach in kurzer Zeit gebildet wurden.

Die Frage, woher diese Erd- und Steinmassen kommen, beantwortet sich sehr einfach durch den Augenschein, sobald man die tief eingeschnittenen Bachbetten, in der Schweiz Runsen genannt, aufwärts verfolgt. Vielfach sind sie durch angesammeltes Material oder eine festere Felsmasse unterbrochen, über welcher sich ein Wassersturz bildet, sobald aber ein solches Hindernifs zufällig verschwindet, so vertieft sich oberhalb desselben sogleich das Bette, und dieser Vertiefung entsprechend stürzen die beiderseitigen Ufer ein. Die Rinne nimmt also plötzlich nicht nur an Tiefe, sondern auch an Breite zu, und der gelöste Boden wird durch den angeschwollenen Bach sogleich in das nächste Thal herabgeführt, wo er am Fufs des höhern Ufers liegen bleibt.

Erreicht dieser Schuttkegel den Flufs selbst, so tritt die Hemmung des Abflusses, und hiermit zugleich die Versumpfung des oberhalb belegenen Thales ein. Aber wenn die Ablagerung ursprünglich auch in einiger Entfernung vom Bette erfolgte, so reifst das darüber und darunter abfliefsende Wasser, besonders in der ersten

Zeit, wenn noch kein Pflanzenwuchs dieselbe bedeckt, grofse Massen mit sich fort und führt sie dem Strome zu. Derselbe wird hierdurch aufgestaut und nimmt dauernd einen höheren Wasserstand an, wodurch die Entwässerung des oberhalb belegenen Thales beeinträchtigt wird.

Um diesen Uebelständen zu begegnen hat man schon seit sehr langer Zeit verschiedene Mittel versucht. Zuerst mag die Versenkung des Materials in einen tiefen See erwähnt werden. Eine Anlage dieser Art besteht schon seit mehreren Jahrhunderten in der Nähe von Interlaken im Berner Oberlande. Der Brienzer- und der Thuner-See sind durch eine Niederung, die nur aus aufgeschwemmtem Boden besteht und wenig über eine halbe Meile lang ist, von einander getrennt. Die hier hindurch fliefsende Aare verbindet beide Seen. Nach einer alten Sage standen diese früher in unmittelbarer Verbindung, was an sich auch um so wahrscheinlicher ist, als sowol von Süden wie von Norden her bedeutende Bäche aus den höhern Gebirgen herabkommen, welche das Material zur Verlandung dieser Stelle herbeiführten. Besonders geschieht dieses auch noch durch die vom Grindelwald und aus dem Lauterbrunner Thal herabkommende Lütschine. Dieselbe ergofs sich früher in die Aare, indem sie die Ebene der Breite nach durchströmte. Hierdurch wurden die zum damaligen Augustiner-Kloster Interlaken gehörigen Ländereien vielfach verwüstet, indem die Lütschine sie theils mit Sand und Kies überdeckte, sie theils aber auch stellenweise in Sumpf verwandelte, weil sie die Abflüsse sperrte. Dieses gab Veranlassung, dafs man den Bach in einem neuen Bette und grofsen Theils zwischen Deichen am Fufse des westlichen Gebirges entlang bei dem Dorfe Böningen in den Brienzer-See leitete. In dieser Weise wirft die Lütschine das Material, welches sie mit sich führt, in den See. Sie veranlafst daselbst freilich auch Verlandungen, doch hat man bisher durch Verlängerung der Dämme, welche die Mündung einschliessen, der Wiederkehr ähnlicher Verwüstungen vorgebeugt. Das benannte Kloster wurde zur Zeit der Reformation aufgehoben, die Ableitung der Lütschine war bereits früher erfolgt.

Eine ähnliche viel grofsartigere Anlage ist in diesem Jahrhundert im Canton Glarus zur Ausführung gekommen. Dieses ist die Ableitung der Linth in den Walen-See und aus diesem in den Züricher-See. Von dem letzten dieser Canäle ist bereits im I. Theile

dieses Handbuches (§. 26.) die Rede gewesen, doch ist auch der erste sowol an sich, als auch wegen der dabei gemachten Erfahrungen so wichtig, dafs er nicht mit Stillschweigen übergangen werden darf, und ich fühle mich um so mehr veranlafst, hierauf näher einzugehn, als ich im Sommer 1823 das vor Kurzem beendigte Werk sah *), und im Jahre 1869 noch Gelegenheit hatte, von den inzwischen eingetretenen Erfolgen und Veränderungen Kenntnifs zu nehmen.

Die Verhältnisse sind hier sehr ähnlich denjenigen von Interlaken, nur sind die beiden betreffenden Seen viel ausgedehnter, auch ist die dazwischen belegene Wiesenfläche nahe 2 Meilen lang. Letztere soll gleichfalls in früherer Zeit nicht vorhanden gewesen sein, so dafs beide Seen einen einzigen bildeten. Zahlreiche und zum Theil sehr ansehnliche Bäche treten sowol von der Nord- wie von der Südseite in die Ebene und versehen sie reichlich mit abgespülter Erde, wie mit Gerölle und Geschieben, die sie von hohen Gebirgskämmen lösen, vorzugsweise ist es aber die aus Süden zuströmende Linth, die besonders an der Stelle, wo ihr Thal unterhalb Glarus zwischen Mollis und Näfels sich auf etwa 200 Ruthen verengt, grofse Massen schweren Geschiebes aufnahm und der erwähnten Niederung zuführte. Die Linth strömte damals neben Ober- und Niederurnen nach dem Fufse der Schäniser Berge auf der nördlichen Seite des Thales, und wand sich von hier zunächst wieder südlich, sodann nördlich, so dafs sie schliefslich am Fufs des Unter-Buchberges bei Schmerikom in den Züricher-See trat. Dieser frühere Lauf ist noch gegenwärtig beinahe in seiner ganzen Ausdehnung deutlich zu erkennen. Den Abfluſs aus dem bedeutend höher belegenen Walen- oder Walenstädter-See bildete die Maag, deren Einmündung sich nicht weit von Wesen befand, und die am Fufse des Schäniser-Berges vor der sogenannten Ziegelbrücke sich mit der Linth vereinigte.

Durch die stets neu hinzugeführten Erdmassen wurde der Abfluſs des Wassers aus diesem Thale in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts immer mehr gehemmt. Die Eindeichungen im Linth-Thale unterhalb Glarus sollen hierzu vorzugsweise Veranlassung gegeben haben, indem sie die gleichmäfsige Verbreitung der zugeführten Massen über die ganze Thalfläche verhinderten, wahr-

*) Beschreibung neuer Wasserbauwerke von G. Hagen. Königsberg 1826.

scheinlich trug dazu aber auch noch die Lichtung der Forsten auf den nächsten Gebirgen bei, indem der Absatz des Holzes von hier ab wenigstens bei höheren Wasserständen durch Flöfserei gesichert war.

Das Thal zwischen den beiden Seen hatte sich auf diese Art in dem obern Theile immer mehr erhöht, indem namentlich durch die Linth und den Nieder-Urner-Bach grofse Erd- und Steinmassen ihm zugeführt wurden, die sich hier anhäuften. Der Abfluſs der Maag wurde dadurch so behindert, daſs der Wasserspiegel des Walen-Sees, der einem bedeutenden Wechsel stets unterworfen gewesen, sowol bei Anschwellungen wie auch im gewöhnlichen Stande sich viel höher stellte, als früher. Es geschah sogar zuweilen, daſs die Linth, statt dem Züricher See zuzufliefsen, sich in den Walen-See ergofs. Die Wiesen welche den letzten umgeben, verloren ihre Ertragsfähigkeit, und dasselbe geschah auch in dem gröfsten Theile des Thales zwischen beiden Seen. Aufserdem wurden die niedriger belegenen Dörfer unter Wasser gesetzt, so daſs sie zum Theil unbewohnbar wurden. Namentlich litt in dieser Weise das Dorf Wesen, in welchem die Bewohner gezwungen waren, die untern Geschosse der Häuser zu verlassen, und da gewöhnlich der Verkehr nur durch Kähne vermittelt werden konnte, so wurden auswärts Treppen erbaut, die als Landestellen dienten. Obwohl 1823 das Uebel in der Hauptsache bereits beseitigt war, so waren damals doch mehrere solcher Treppen noch vorhanden. Auch andere tief belegene Ortschaften und selbst Wallenstad am westlichen Ende des Sees litten in ähnlicher Weise.

Nachdem schon wiederholentlich diese grofse Calamität in den Tagsatzungen zur Sprache gekommen, und von dem Erziehungsrath Hans Conrad Escher in Zürich der Weg bezeichnet war, auf welchem allein das Uebel beseitigt werden könnte, wurde endlich 1804 die Ausführung dieses Projectes genehmigt, und zwar durch eine Actien-Gesellschaft, welcher die bisher inundirten Ländereien, jenachdem sie keinen, oder nur geringe Erträge geliefert hatten, ganz oder im Verhältnifs zu ihrem Mehrwerthe zufallen sollten. Dabei wurde zugleich bestimmt, daſs die baare Einzahlung durch Hülfsleistung ersetzt werden könne. Es wurde aus verschiedenen Sachverständigen eine Aufsichts-Commission gebildet, deren Präsident Escher war. In diese Commission wurde auch der damalige

Ingenieur-Hauptmann Tulla aus Karlsruhe gewählt, der die Ausführung der Durchstiche in Baden leitete, der jedoch wie es scheint bei diesem Unternehmen sich nur wenig betheiligte und nur einmal, und zwar vor dem Beginn der Arbeiten, an Ort und Stelle gewesen war.

Nachdem die Kriegsunruhen in dortiger Gegend aufgehört hatten, und ein vollständiges Nivellement vorlag, wurde endlich unter Escher's Leitung am 1. Sept. 1807 die Arbeit mit dem Canale begonnen, der die Glarner Linth von der Brücke zwischen Mollis und Näfels längs dem Fuſse des Walenberges in den Walen-See leiten sollte. Letzterer hat die groſse Tiefe von 400 bis 600 Fuſs, und Tulla nahm an, daſs eine spätere bedeutende Verlängerung des Canals nicht nöthig sein würde, indem die zugeführten Erd- und Steinmassen sich im See unschädlich ablagern könnten. Dieser Canal erhielt später den Namen Escher-Canal während unter der Benennung Linth-Canal die Verbindung zwischen dem Walen- und Züricher-See verstanden wird. Letzterer wurde bald darauf in Angriff genommen, und seine obere Mündung etwa 300 Ruthen nördlich von der Ausmündung des Escher-Canals in den Walen-See verlegt.

Vom Jahre 1807 ab wurden den Actionären in dem „officiellen Notizblatt über die Linth-Unternehmung“ Mittheilungen gemacht, die ich bei der früheren Beschreibung dieser Anlage benutzt hatte.

Indem ich nachstehend einige Notizen über beide Canäle hinzufüge *), muſs ich bemerken, daſs die Maaſse sämmtlich in Schweizer Fuſsen ausgedrückt sind. Der Schweizer Fuſs ist gleich 0,3 Meter oder 1,062 Rheinländischen Fuſsen, er verhält sich also zu diesem nahe, wie 17 zu 16.

Die Canalisirung der Glarner Linth erstreckt sich noch 6000 Fuſs oberhalb der erwähnten Brücke, von hier ab maaſs die Länge des neuen Canales ursprünglich bis zum See 13000 Fuſs, und unter der Voraussetzung, daſs letzterer sich um 6 Fuſs senken würde, konnte man ihm das Gefälle von 0,0032 geben. Indem man ferner die gröſste Wassermenge, welche die Linth zu Zeiten abführt, auf

*) Diese Notizen sind zum Theil entnommen aus den „hydrotechnischen Mittheilungen über Linth-Correction“ von dem Linth-Ingenieur G. H. Legler. Glarus 1868.

10 000 Cubikfufs in der Secunde schätze, während gewöhnlich dieselbe nur halb so grofs ist, so entschlofs man sich, in gleicher Weise, wie Prony dieses vorgeschlagen hatte (Theil I. §. 26.), dem Canale ein engeres und ein weiteres Profil zu geben. Unter Zugrundelegung der Formel von Eytelwein erhielt hiernach das engere Profil 56 Fufs Sohlenbreite und einfüfsige Böschungen, die sich 8 Fufs erhoben, das weitere Profil dagegen, welches auf beiden Seiten dieses umfafste, maafs in der Sohle 106 Fufs, und die einschliefsenden Dämme von 7 Fufs Höhe waren auf der innern, wie der äufsern Seite zweifüfsig geböscht. Zur Sicherung des ersten Bettes waren dessen Ufer mit grofsen Steinen verkleidet, die sorgfältig und möglichst dicht übereinander gepackt in zunehmender Stärke sich bis unter die Canal-Sohle fortsetzten. Diese Steinwände, Wuhre genannt, waren an allen Stellen, wo ein besonders starker Angriff besorgt werden konnte, auf der Dammseite lothrecht aufgeführt, so dafs die Erde darunter nicht ausgespült werden, und das Pflaster, welches die innere Böschung bildete, nicht versacken konnte. Sie setzten sich in der angegebenen Länge bis in den Walen-See fort, und waren vielfach unter einander durch 50 Fufs breite Steinschwellen verbunden, die man zum Schutze der Sohle anlegte.

Der Linth-Canal dagegen, der von der Ziegelbrücke abwärts (wo früher die Maag sich mit der Linth vereinigte), mehrfach das alte Flufsbette bedeutend abkürzte, hatte von hier bis zum Züricher-See die Länge von etwa 60000 Fufs, und sein Gefälle das ursprünglich 64 Fufs betrug, hoffte man durch Senkung des Wasserspiegels an dieser besonders hoch angewachsenen Stelle um 20 Fufs zu ermäfsigen. Das Gefälle, so wie auch die Breite des Canales waren aber nicht in der ganzen Länge gleich grofs, sondern man liefs den örtlichen Verhätnissen entsprechend hier wie auch in der obern Fortsetzung des Canales bis zum Walen-See von diesem See abwärts die Gefälle nach und nach geringer und die Breiten gröfser werden. Dieser Canal erhielt gleichfalls doppelte Profile, von denen das engere 4000, und beide zusammen 10000 Cubikfufs in der Secunde abführen sollten. Von den Schwierigkeiten, welchen man hier bei der Ausführung begegnete ist bereits oben (Theil I. §. 26) die Rede gewesen, so wie auch von der Vorsicht, die man anwandte, um nicht die Zuflüsse von den beiderseitigen Bergwänden mit den gröbern und feinern Stoffen, die sie mit sich führten, in den Canal

treten zu lassen. Die Arbeit wurde aber endlich noch dadurch wesentlich erschwert, dafs die Flöfserei nicht behindert werden durfte.

Nachdem der Linth-Canal eröffnet, also die Ableitung des Walen-Sees gesichert war, und man auch den Escher-Canal dargestellt hatte, der grofsentheils im Trocknen ausgehoben und befestigt werden konnte, so wurde am 8. Mai 1811 die Linth neben der Brücke bei Mollis in den neuen Canal geleitet, so dafs sie sich nunmehr in den Walen-See ergofs. Die seitdem in weiter Umgebung eingetretenen Veränderungen des Bodens haben allen Erwartungen entsprochen. Der Walen-See hat sich, wie im Folgenden nachgewiesen werden soll, sehr bedeutend gesenkt, und die früher unzugänglichen Sümpfe, aus denen nur einzelne Schutthaufen und Geschiebe vorragten, haben sich seitdem grofsentheils in ertragreiche Wiesen und Aecker verwandelt, neben denen zahlreiche Ansiedelungen entstanden sind. Als ich im Jahre 1823 diese Anlagen sah, waren heftige Regen vorangegangen. Der Escher-Canal führte daher sehr stark getrübtes Wasser ab und besonders überraschte es, in der Nähe der Steinbettungen das dumpfe Tosen der darüber rollenden gröfsern Blöcke zu hören. Im Walen-See konnte man auf weite Entfernung die dunkle Strömung verfolgen, die in der Richtung der Mündung sich fortsetzte. Dagegen trat das Wasser vollkommen klar in den Linth-Canal ein.

Dafs manche Beschädigungen an den Ufern und Deichen vorkamen und vielfache Ausbesserungen und Verstärkungen nothwendig wurden, kann nicht befremden, namentlich forderten die Deiche einen kräftigeren Schutz, den man ihnen seitdem durch Steinbuhnen gegeben hat, welche aber selbst wieder starken Angriffen ausgesetzt waren. Nach dem im März 1823 erfolgten Tode Escher's ehrte die Tagsatzung seine Verdienste, indem sie, wie bereits erwähnt, den Canal von Mollis nach dem Walen-See den Escher-Canal nannte, und neben der Mündung desselben am Ufer des Sees ihm ein Denkmal errichtete. Ein zweites Denkmal, welches seine Büste trägt und von Garten-Anlagen umgeben ist, befindet sich am Fufse des Schäniser Berges ohnfern der Ziegel-Brücke am Linth-Canale. Aufserdem wurde dem Namen Escher für dessen Nachkommen noch der volksthümliche Zusatz „von der Linth“ beigefügt.

Mit den beschriebenen Ausführungen konnte indessen das Unternehmen nicht als beendigt angesehn werden. Es zeigte sich bald,

dafs die herabgeführten Geschiebe nicht in der Art im Walen-See verschwanden, wie man erwartet hatte. Bald bildete sie vor der Mündung des Canales eine Untiefe, welche den Abfluſs verzögerte und Veranlassung gab, dafs der untere Theil des Canales sich gleichfalls verflachte. Die beiderseitigen Dämme konnte man wohl erhöhen, aber das frühere starke Gefälle liefs sich bei der weitern Verflachung des Sees nicht wiederherstellen. Bis zum Jahre 1868 hatte man den Canal durch neue Ufereinfassungen 3300 Fufs in den See hinausgeführt, doch traten die Kiesfelder auf der Nordseite noch weit vor die Canaldämme hinaus, und ich bemerkte darin eine flache Rinne, die der Mündung des Linth-Canales zugekehrt war, und deren Sohle nur aus gröfsern Geschieben bestand. Bei höherem Wasser richtet sich also die Strömung aus dem Escher-Canale direct nach dem Linth-Canale und die Klärung des Wassers erfolgt alsdann wohl keineswegs mehr so vollständig, wie früher. Die Verhältnisse haben sich auch insofern wesentlich geändert, als das relative Gefälle des ersten Canales, namentlich in seinem untern Theile, sich vermindert hat, man hat ihm in der Verlängerung auch eine gröfsere Breite gegeben, um den Abfluſs möglichst zu befördern, und hierdurch ist die Geschwindigkeit des austretenden Wassers so vermindert, dafs dasselbe nicht mehr in der Richtung des Canales auf gröfsere Länge den See durchströmt, sondern sich bald dem Abflusse des letztern zuwendet.

Die Anlage hat noch in andrer Art eine wesentliche Aenderung erfahren. Die Reparaturen am Linth-Canale wurden dadurch erschwert, dafs in demselben ununterbrochen eine starke Strömung stattfand. Aus diesem Grunde räumte man später das alte verlafsne Bette der Linth von Mollis bis zur Ziegel-Brücke wieder auf, indem man es zugleich regulirte und in den Ufern befestigte, und versah es an beiden Enden mit Archen, so dafs man einen Theil des Wassers, oder wenn die Zuflüsse nur schwach waren, auch die ganze Wassermenge der Linth hindurchlassen konnte. Hierbei trat noch der günstige Umstand ein, dafs dieser Seiten-Canal zugleich zum Betriebe einer bedeutenden Spinnerei benutzt wurde. Vor derselben ist in grofser Ausdehnung ein ummauertes Sammel-Bassin angelegt, in welchem die erdigen Stoffe niederschlagen, so dafs dem Linth-Canale auch hier nur reines Wasser zugeführt wird. Wenn aber die Linth nur wenig Wasser hat, was besonders im Winter der Fall ist, da

sie vorzugsweise von Gletschern gespeist wird, so läfst man sie ganz durch ihr altes Bette abfliefsen, und alsdann hat man Gelegenheit, die etwa nöthigen Reparaturen und besonders die erforderlichen Aufräumungen in dem Escher-Canale sehr bequem auszuführen.

Schliefslich mag noch erwähnt werden, dafs nach der Mittheilung Legler's der Walen-See bei niedrigem Stande in den Jahren

von 1807 bis 1824 um 7,8 Fufs
von 1824 bis 1841 um 3,0 Fufs
und von 1841 bis 1865 um 7,2 Fufs

also in der ganzen Periode um 18 Fufs sich gesenkt hat.

Wenn selbst bei der Linth-Correction, wo ein grofser und sehr tiefer See zur Aufnahme des herbeigeführten Geschiebes und feinern Materials benutzt werden konnte, im Laufe einiger Jahrzehende sehr wesentliche Uebelstände sich herausstellten, so tritt in andern Fällen das Bedürfnifs noch um so dringender auf, diese gelösten Erd- und Stein-Massen überhaupt nicht in das Bette des gröfsern Wasserlaufes gelangen zu lassen, sie vielmehr schon in der steil abfallenden Felsschlucht aufzufangen und wo möglich die Sohle des Bachbettes so zu befestigen, dafs sie nicht weiter sich vertiefen kann. Gelingt dieses und sind die beiderseitigen Abhänge nicht gar zu steil, so wird auch dem fernern Abbruche derselben vorgebeugt, und sonach nimmt der aus der Runse tretende Bach in der ganzen Länge seines Laufes keine Geschiebe und Erde auf, und die Gefahr der nachtheiligen Ablagerung derselben ist vollständig beseitigt.

Versuche dieser Art sind vielfach und zwar mit günstigem Erfolge gemacht worden, namentlich ist dieses in der Schweiz geschehn, wie sich solches aus dem von Culman an den Schweizerischen Bundesrath im Jahre 1864 erstatteten Berichte ergiebt. *) Für die beiden wesentlich verschiedenen Methoden, die dabei zur Anwendung gekommen sind, finden sich in den Zuflüssen der Linth Beispiele, und zwar gehören eben diese zu den bedeutendsten Anlagen solcher Art.

Schon beim Beginn der Linth-Correction wurden diejenigen Ortschaften, in deren Gebiet sich Runsen befanden, aus welchen grofse Steinmassen herabstürzten, verpflichtet, diese nicht bis zur

*) Bericht über die Untersuchung der Schweizerischen Wildbäche. Zürich 1864.

Linth gelangen zu lassen, sondern sie vorher aus den Bachbetten zu beseitigen. Die Verpflichtung dieser Art traf unter andern das Dorf Mollis, in Betreff der Rüffi-Runse. Am Fufse derselben, wo der Bach in das Thal tritt, sollten die nach jedem heftigen Regen abgelagerten Geschiebe ausgehoben und beseitigt werden, was jedesmal grofse Kosten veranlafste und dennoch nur sehr unvollständig geschah, so dafs das Bachbette sich immer erhöhte, und deshalb wieder die Erhöhung der beiderseitigen Deiche nöthig wurde. Dennoch brachen die letztern häufig und alsdann stürzte das Wasser mit starkem Gefälle sich in die Gärten und zwischen die Häuser und überdeckte die Flächen mit Kies und grobem Geschiebe.

Um diesen Verwüstungen zu begegnen, und zugleich die Kosten für Aufräumung des Bachbettes zu mäfsigen, wurden auf den Vorschlag des Ingenieur Duile seit 1841 verschiedene Thalsperren in der Runse selbst erbaut. Dieselben bestehn hier aus starken Mauern, die an geeigneter Stelle das Thal schliefsen und oberhalb Kessel bilden, welche das herabgeführte Material aufnehmen. Sie haben aufserdem noch den Zweck, Festpunkte zu bilden, welche die weitere Vertiefung der Runse verhindern. Es existiren hier gegenwärtig eilf solcher Thalsperren, von denen einige 50 Fufs und darüber hoch sind.

Die Mauern, ohne Mörtel ausgeführt, bilden im Grundrisse Bogen, deren convexe Seiten aufwärts gekehrt sind, und welche sich an beiden Enden gegen feste Felswände lehnen, die ihnen zu Widerlagern dienen und zu diesem Zwecke mit passenden Einschnitten versehn sein müssen. Es ist Bedingung, dafs die zu verwendenden Steine hinreichende Festigkeit besitzen und nicht etwa verwittern oder ausfrieren. Das in dieser Runse herabstürzende Geschiebe besafs diese Eigenschaften und kam oft in so regelmäfsigen Blöcken vor, dafs die Bearbeitung, die immer nur sehr roh sein durfte, beinahe ganz unterbleiben konnte. Die gröfsten Blöcke wurden zur Darstellung der abwärts gekehrten Fläche verwendet, und soviel es geschehn konnte, sorgte man auch dafür, dafs die Fugen radial gerichtet waren, und sich gehörig überdeckten. Die Stärke dieses Gewölbes, in welchem die Steine meist ganz hindurchgreifen, mifst etwa 3 Fufs. Der daran anschliefsende Theil der Mauer wird mit gröfsern und kleinern Steinen sorgfältig ausgepackt. Die Kronenbreite der ganzen Mauer mifst 10 Fufs, unten ist letztere etwas stär-

ker, da die thalabwärts gerichtete cylindrische Fläche nicht lothrecht ansteigt, sondern im Verhältnifs von 1 zu 4, oder auch wohl von 1 zu 3 geneigt ist. Flacher darf sie nicht sein, weil sie sonst zu leicht von den darüber herabstürzenden Steinblöcken leidet. Bei der ersten Anlage giebt man den Mauern die Höhe von etwa 15 Fufs, werden sie später erhöht, so geschieht dieses nicht leicht über 10 Fufs. Die Krone wird nicht horizontal gehalten, sondern man läfst sie von den Enden nach der Mitte um 3 bis 5 Fufs abfallen, damit der stärkste Wassersturz nicht die Felswände trifft, die am leichtesten angegriffen werden. Um jedoch auch die Sohle der Runse gegen den Angriff des herabfallenden Wassers und der Steine zu schützen, führt man hier ein Sturzbette von 20 bis 30 Fufs Breite und mindestens 3 Fufs Stärke auf, welches etwas abwärts geneigt ist.

Sobald der Kessel vor der Thalsperre sich vollständig gefüllt hat, wird eine zweite Mauer in gleicher Weise, wie die erste, ausgeführt. Sie schliefst sich jedoch nicht an diese an, sondern tritt gegen sie zurück, um den Sturz des Wassers zu unterbrechen. Sie steht aber ohne weitere Fundirung auf dem aufgefangenen Gerölle, welches sich sehr festschliefsend abzulagern pflegt, da es vom Wasser abwärts durchströmt und in den Zwischenräumen durch feineres Material geschlossen wird. Hat man in dieser Weise die Höhe von 30 bis 40 Fufs erreicht, und besonders wenn vor dem Sturzbette Auskolkungen sich zeigen, so legt man davor ein neues Sturzbette, das sich aber nicht unmittelbar an das erste anschliefst, vielmehr etwas tiefer liegt, so dafs eine Stufe von etwa 3 Fufs Höhe den Uebergang bildet. Fig. 13 auf Taf. I zeigt eine solche Thalsperre im Durchschnitt.

Von den Thalsperren in der Rüfi-Runse besichtigte ich die vier untern, sie hatten sämmtlich ihrem Zweck vollständig entsprochen und die Kessel davor hatten sich gänzlich angefüllt, so dafs die Ablagerungen mit sanfter Neigung nach den Mauern abfielen. Sehr grofse Massen Material sind in dieser Weise aufgefangen, die, wenn sie in das Thal herabgeführt wären, ohne Zweifel ausgedehnte Verwüstungen veranlafst hätten. Mein Führer, ein Einwohner von Mollis, klagte aber, dafs in jedem Jahre Erhöhungen der vorhandenen, oder neue Thalsperren ausgeführt werden müfsten, weil sie so schnell verlandeten, und alsdann die neu hinzukommenden Steine nicht mehr auffingen. Durch Flechtzäune, die man in den Ablagerungen aus-

führt, läfst sich ihre Wirksamkeit freilich etwas vermehren und eine steilere Böschung darstellen, doch halten diese mehr das feine Material, als die gröberen Geschiebe zurück.

Die untere Thalsperre war hier im Jahre 1846 auf der linken Seite, und zwar im Anschlufs an die Felswand, durchbrochen, und da letztere schnell zurückwich, so folgte ein grofser Theil des von der Mauer aufgefangenen Materials dem Bache und übermäfsige Verschüttungen bildeten sich im Thale. Diese Erfahrung erregte vielfache Besorgniſs und man wurde sogar zweifelhaft, ob es nicht gerathener sei, die Steine und das Gerölle durch den sich selbst überlassenen Bach nach und nach herabkommen zu lassen, als es in grofser Masse aufzufangen und immer zu fürchten, dafs es bei möglichem Bruche plötzlich die Wiesen und Gärten in grofser Höhe überdecken könnte. Es ergab sich indessen, dafs hier der Anschlufs der Mauer nicht mit gehöriger Vorsicht geschehn war, die Felsrippe, an welche sie sich lehnte, hatte nicht die nöthige Festigkeit. Bei Wiederherstellung der Sperre sah man sich daher auch gezwungen, in einen weiter zurückliegenden Theil der Wand die Mauer einzubinden, und so geschah es, dafs diese Mauer im Grundrisse eine scharfe Ecke zeigt, welche gegen das Thal vortritt.

Die Besorgniſs in Betreff der möglichen Folgen beim Bruche einer solchen Mauer ist indessen gegenwärtig ziemlich beseitigt, nachdem solche Fälle sich ohne besonders nachtheilige Folgen mehrfach wiederholt haben. Namentlich zeigte sich dieses bei der Steinbruch-Runse ohnfern Näfels. Die Thalsperre brach hier in der Mitte durch, die gelösten Steine blieben aber unmittelbar hinter derselben liegen, indem sie eine flachere Böschung annahmen, während der gröfste Theil des feinern Materials in die Zwischenräume eindrang, und das Wasser ziemlich rein darüber abfloſs.

Schliefslich wäre noch zu erwähnen, dafs man in andern Theilen der Schweiz, wo es an festen und lagerhaften Steinen fehlt, die Thalsperren auch aus Holz erbaut. Man legt die abgesägten Tannenstämme mit ihren Aesten und Zweigen in der Richtung des Thales schichtenweise nebeneinander und zwar so, dafs die Stamm-Enden thalabwärts gekehrt sind. Jede dieser Schichten wird durch übergenagelte starke Latten in sich verbunden, während die folgende Schicht so weit zurücktritt, dafs sich an der untern Seite etwa eine einfüfsige Böschung darstellt. Zwischen den Zweigen lagert sich

bald soviel feineres Material ab, dafs die Durchströmung aufhört, auch soll sich das Holz alsdann lange Zeit hindurch gut erhalten, während nur die vortretenden Stamm-Enden sowol vom Wasser, wie auch von den darüber herabstürzenden Steinen angegriffen werden, doch erfolgt diese Abnutzung so langsam, dafs sie keine Besorgnifs erregt.

Wenn die Thalsperren auch einzelne Punkte einer steil abfallenden Runse fixiren und hier den weitern Vertiefungen vorbeugen, aufserdem aber auch grofse Quantitäten des Materials, welches der Bach herabführt, auffangen und sicher ablagern, so können sie doch nicht verhindern, dafs an andern Stellen die Schlucht sich verbreitet und vertieft und sonach fortwährend neue Steine und Schutt- oder Erdmassen herabtreiben. Um diesem Uebelstande zu begegnen hat man in neuster Zeit hin und wieder andre Anlagen versucht, die nach den mir gemachten Mittheilungen sich vortrefflich bewähren und die in der That das Uebel in seiner Wurzel angreifen.

Das Dorf Nieder-Urnen, am linken Ufer der Linth ohnfern des Walen-Sees belegen, wurde im Jahr 1837 bei einer Anschwellung des Nieder-Urner-Baches so stark verwüstet, wie selbst in Schweizer Bergdörfern nicht leicht geschieht: mehrere Häuser verschwanden vollständig. Der Wildbach oder nach dortigem Sprachgebrauch der Tobel durchströmte früher das am Ausgange der Schlucht liegende Dorf ziemlich in dessen Mitte. Bei jener Katastrophe sperrte er aber sein Bette durch Felstrümmer und warf auch auf die Ufer daneben diese so mächtig auf, dafs die Gärten 7 Fufs hoch überdeckt wurden und die Obstbäume als Gebüsch aus den Ablagerungen vorragten. Indem er aber seinen frühern Lauf verschlossen hatte, so ergofs er sich nun in das tiefere Land an der linken Seite des Dorfes und bildete sich hier am Fufse des Gebirges ein neues Bette, das er auch seitdem beibehalten hat. Vor seinem Austritt aus dem Gebirge lagen noch neben dem Bette einzelne 10 Fufs hohe Blöcke Nagelflue, die er damals herabgetrieben hatte. Verfolgt man seinen Lauf weiter aufwärts, so begegnet man vielfach Schuttkegeln von 30—40 Fufs Höhe, die wahrscheinlich die Reste von Thalsperren sind, die er bei der Anschwellung selbst bildete und wieder zerstörte. Die Frage, woher diese Massen rühren, erklärt sich sehr einfach durch die schnell eintretende Vertiefung und entspre-

chende Verbreitung der Schluchten, aus welchen die Seitenzuflüsse eintreten. Legler erwähnt, dafs eine solche während eines Menschenalters sich von 30 auf 200 Fufs erweitert habe.

Die seitdem hier ausgeführten Arbeiten beziehn sich nun darauf, dafs die Betten, sowol des Hauptbaches wie der Nebenbäche, soweit sie nicht in festem Gebirge eingeschnitten sind, durchweg geregelt und gesichert werden, um neuen Vertiefungen, also der Lösung von Material vorzubeugen. Dieses ist in sehr grofser Ausdehnung unter der Leitung des Tagwenvogt Jenni in Nieder-Urnen geschehn. Derselbe hatte die Gefälligkeit, mir einen grofsen Theil seiner Anlagen selbst zu zeigen.

Das Wasser, welches selbst bei dem stärksten Regen herabfällt, greift den Boden nicht an, so lange es sich über diesen gleichmäfsig verbreitet, sobald es sich aber in ausgebildeten Rinnen angesammelt hat, so treten die Zerstörungen ein. Die gröfsere Wassermasse wird bei starkem Gefälle in heftige Strömung versetzt, und besonders wo ein Wassersturz sich bildet, erfolgt die Auskolkung, die sich in der Tiefe, wie auch in der Breite immer weiter ausdehnt. Sie nimmt aber auch in der Längenrichtung zu, indem die Schwelle, über welche das Wasser herabstürzt, selbst angegriffen wird, und sonach weiter aufwärts zurückweicht.

Die Ungleichheiten im Bette mufsten zunächst ausgeglichen werden, und dieses geschah durch Flechtzäune, die sich etwa 1½ Fufs über die Sohle erhoben. Sie wurden an ausgekolkten Stellen etwa 10 Fufs von einander entfernt normal gegen die Richtung des Stromes ausgeführt, doch richteten ihre beiderseitigen Enden sich dem Strome entgegen, damit sie um so sicherer das herabgeführte Material auffangen konnten. Sie mufsten jedesmal bis an höhere Uferränder fortgesetzt werden, um die Bildung einer Seitenströmung zu verhindern. Es darf kaum erwähnt werden, dafs vielfache Zerstörungen hierbei vorkamen, aber ein Zaun unterstützte den andern, und sonach erstreckte sich die Beschädigung nicht leicht auf die ganze in Angriff genommene Stelle. Die Intervalle zwischen den Zäunen erhöhten sich aber sehr schnell, so dafs man mehrfach in einem Jahre neue Zäune über die alten stellen konnte. Nach Legler sollen über 1000 Fufs lange Schluchten stellenweise bis auf 50 Fufs gehoben sein.

In dieser Weise wurde dem Bette ein ziemlich gleichmäfsiges

Gefälle gegeben. Man hatte dafür kein bestimmtes Maafs, und solches liefs sich auch nicht allgemein durchführen, da der Lauf des Baches nicht leicht verändert werden konnte, und sonach das Gefälle, wie es sich im Ganzen herausstellte, auch beibehalten werden mufste. Nach flüchtigen Messungen betrug dasselbe an den gelungensten Stellen etwa 20 Grade gegen den Horizont.

War diese erste Arbeit ausgeführt, so kam es darauf an, das neue Bette gegen Zerstörungen zu sichern, und dieses geschah durch muldenförmige Ueberpflasterung. Anfangs gab man der letztern die Breite von 20 Fufs, doch zeigte sich, dafs dieses überflüssig sei, und so hat man sie später auf 12 Fufs beschränkt. Das Pflaster mufs aber tief eingreifen, und man wählt daher, so weit es irgend geschehn kann, 2 Fufs hohe Steine. Zur Erhaltung dieses Pflasters trägt aber wesentlich auch die überaus üppige Vegetation bei, welche zur Seite sogleich einen festen Rasen entstehn läfst, während aus den Fugen zwischen den Steinen gleichfalls Gras und andre Pflanzen emporwachsen. In dieser Weise wurden von 1842 bis 1860 am Urner Bache 3350 Fufs verbaut, die Arbeiten sind indessen auch später fortgesetzt, und zwar mit um so gröfserem Eifer, als Zerstörungen des Pflasters, oder der sogenannten Steinschalen gar nicht vorgekommen sind. Die ganze Länge soll 1869 nahe eine Schweizer Stunde betragen haben.

Es mufs noch erwähnt werden, dafs an diesem Bache, und zwar ziemlich weit abwärts, auch eine massive Thalsperre, wie oben beschrieben von 25 Fufs Höhe ausgeführt ist. Der davor liegende Kessel war vollständig mit Material angefüllt, eine weitere Erhöhung war aber nicht in Aussicht genommen, da in Folge jener Steindeckungen nur wenig Gerölle noch herabgeführt wird.

Endlich ist in Betreff der Seiten-Zuflüsse noch deren Einmündung in den Hauptstrom zu berücksichtigen. Häufig führen dieselben viel Material dem letzteren zu, und da gemeinhin die Anschwellungen beider nahe zusammenfallen, während die Strömung im Hauptstrome schwächer als im Nebenflusse ist, so bleibt das Material, welches der letztere zuführt, vor der Mündung liegen, und zwar in der Richtung der Strömung, die bei dem hohen Wasserstande abwärts gekehrt ist. Fällt später das Wasser, und vermindert sich der Zufluſs aus dem Seitenbache bei trockner Witterung, so besitzt derselbe nicht mehr die nöthige Kraft, um die von ihm

aufgeworfene Untiefe, die oft trocken liegt, zu durchbrechen. Das Wasser, welches er nunmehr noch abführt, muſs also diese umströmen, und so geschieht es, daſs seine Mündung sich häufig stromaufwärts wendet. In dieser Art hatten sich, als die Regulirung der Mosel begann, fast alle Mündungen der Nebenflüsse und Seitenbäche gestaltet, und zuweilen traten die Kiesbänke so weit in den Strom, daſs dieser auf einen geringen Theil seiner sonstigen Breite eingeengt und so stark aufgestaut wurde, daſs eine heftige Stromschnelle sich hier bildete. Namentlich war dieses neben dem Städtchen Cochem der Fall.

Wenn der Nebenfluſs ungefähr dasselbe Gefälle, wie der Hauptstrom hat, und seine Mündung ziemlich regelmäſsig stromabwärts gekehrt ist, so pflegen gleichfalls oberhalb des Vereinigungs-Punktes Untiefen zu entstehn. Sobald eine der beiden Strömungen sich verstärkt, während die andre nur mäſsig bleibt, so bildet das Bette der letztern ein Seitenbassin, das vom starken Strome nicht getroffen, wohl aber von ihm angefüllt wird. Die erdigen Stoffe, welche der anschwellende Strom abführt, schlagen daher in dem andern nieder, und so bildet sich die Untiefe im Hauptstrom vor der Mündung des Nebenflusses immer mehr aus.

§. 10.

Verschiedene Wasserstände.

Die Höhe, zu welcher der Wasserspiegel an jeder Stelle des Stromlaufes sich erhebt, wird durch verschiedene Umstände bedingt, vorzugsweise aber durch die abgeführte Wassermenge. Sobald diese sich vergröſsert, steigt der Wasserstand und im entgegengesetzten Falle senkt er sich. Dabei ändert sich freilich auch die Geschwindigkeit der Strömung, doch nicht in dem Maaſse, daſs hierdurch allein die Ausgleichung erfolgen könnte, vielmehr vergröſsert oder vermindert sich auch der Querschnitt des Stromes, und da derselbe in der Sohle und seitwärts durch feste Wände begrenzt wird, so muſs der Wasserspiegel sich heben oder senken.

Die Flüsse werden durch die atmosphärischen Niederschläge gespeist, die wie schon früher (Theil I. §. 3.) nachgewiesen, sich

sehr ungleichmäfsig über das ganze Jahr vertheilen. Vereinigen sich diese Niederschläge unmittelbar auf stark geneigten Abhängen eines undurchdringlichen Bodens zu Bächen, so schwellen diese bei starkem Regen oder beim Schmelzen des Schnees in kurzer Zeit heftig an, versiegen aber wieder fast eben so schnell sobald trockne Witterung eingetreten ist. Wenn dagegen das Wasser bereits einen längern Weg zurückgelegt hat, so tritt auf demselben schon eine gewisse Ausgleichung ein, wie Prony durch Versuche nachwies (Theil I. §. 26). Der Grund dafür beruht darauf, dafs die Fluthwelle nicht nur das eigentliche Bette, sondern auch die Niederungen zur Seite füllt, und indem die letztern das aufgesammelte Wasser später wieder dem Flusse zuweisen, so dehnt sich die Dauer der Anschwellung um so länger aus, je weiter der Weg ist, den sie zurücklegt. Weit vollständiger stellt sich die Ausgleichung des abzuführenden Wassers aber heraus, wenn die atmosphärischen Niederschläge zunächst in weit ausgedehnten Bassins aufgenommen werden und aus diesen erst in die Flufsbetten treten. Am häufigsten sind es Sumpfgegenden welche in dieser Weise als Regulatoren dienen, und diejenigen Flüsse, welche aus solchen ihr Wasser erhalten, zeigen eine viel gröfsere Gleichmäfsigkeit und versiegen niemals. Noch vollständiger erfolgt aber die Ausgleichung der Zuflüsse, wenn das Wasser in weiten Seen aufgenommen wird und aus diesen in die Flufsbetten tritt. So verändert der Spirding-See ohnerachtet der reichen Quellen, die er aufnimmt, im Laufe des Jahres seinen Stand durchschnittlich nicht mehr als um einen Fufs, in seinem $2\frac{1}{2}$ Quadratmeilen grofsen Becken sammelt sich der Niederschlag von 32 Quadratmeilen Oberfläche an, und speist das ganze Jahr hindurch sehr reichlich den Pisseck-Flufs, dem selbst in der trockensten Jahreszeit noch über 200 Cubikfufs in der Secunde zugeführt werden. Der grofse Vortheil eines solchen gleichmäfsigen Zuflusses besteht theils darin, dafs selbst in der trockensten Jahreszeit eine für den Betrieb der Schifffahrt hinreichende Wassermenge im Strome bleibt, theils aber fehlen hier auch die starken Anschwellungen, welche auf die umgebenden Ländereien nachtheilig wirken und die Ufer verheeren. Ein dritter wohlthätiger Einfluss der Seen, dessen schon früher erwähnt worden, bezieht sich endlich darauf, dafs sie die Geschiebe und das feinere Material des Stromes aufnehmen und dadurch die untere Stromstrecke vor nachtheiligen Ablagerungen sicher stellen.

Das grofsartigste Beispiel von der Ausgleichung des Wasserstandes durch ausgedehnte Wasserbecken, welche mit den Strömen in Verbindung stehn, ist die Kette von Seen, welche in Nord-Amerika der St. Lorenzstrom durchfliefst. In diesen Seen selbst kommt keine bedeutende Aenderung des Wasserspiegels vor *), und selbst bei der Einmündung des Ottawa in den St. Lorenz, ohnfern Montreal, soll der Unterschied zwischen dem bekannten höchsten und kleinsten Wasserstande nur 1 Fufs 7 Zoll betragen. **)

Ganz anders ist das Verhalten derjenigen Ströme, welche in Gebirgsgegenden entspringen und weder ausgedehnte Niederungen berühren, noch auch Seen durchfliefsen. Die Ruhr liefert nach frühern Messungen bei einer Ausdehnung des Flufsgebiets von etwa 94 Quadratmeilen zur Zeit des kleinsten Wassers nur 277 Cubikfufs, dagegen schwillt sie zur Zeit des Hochwassers an einzelnen Stellen bis 17 Fufs über den niedrigsten Wasserstand an. Eben so führte die Lahn zur Zeit des sehr niedrigen Wasserstandes im October 1842 unterhalb Wetzlar nur etwa 200 Cubikfufs ab, während die Ausdehnung ihres Flufsgebietes für diese Stelle ungefähr 83 Quadratmeilen mifst. Der Unterschied zwischen dem höchsten und kleinsten Wasser beträgt bei Leun unterhalb Wetzlar 10 bis 12 Fufs.

Es ergiebt sich aus dem Vorstehenden, dafs der Wasserstand eines Stromes vorzugsweise von der Reichhaltigkeit seiner Zuflüsse, oder wenn er aus grofsen Seen gespeist wird, von dem Wasserstande in diesem abhängt, beide Umstände sind aber wieder durch die Witterungsverhältnisse bedingt, und da letztere im Laufe jeden Jahres sich mit ziemlicher Regelmäfsigkeit wiederholen, so stellen sich in derselben Periode auch eben so regelmäfsige Veränderungen des Wasserstandes im Strome ein. Umfassen die Beobachtungen einen Zeitraum von mehreren Jahren, so läfst sich darnach der mittlere Wasserstand für jeden Monat berechnen, und zugleich die Grenze bezeichnen, bis zu welcher die alsdann eintretenden höchsten Anschwellungen oder tiefsten Senkungen durchschnittlich zu steigen

---

*) *Stevenson sketch on the Civil Engineering in North-America* 1837. p. 68. Daselbst ist zwar von einer Anschwellung des Erie-Sees die Rede, die in der Periode von 7 Jahren wiederkehren und 2 Fufs betragen soll, doch sagt der Verfasser selbst, dafs die Sache nicht gehörig aufgeklärt sei.

**) *M. Chevalier histoire et description des voies de communication aux états unis I. p.* 46.

oder zu fallen pflegen. Ermittelungen dieser Art sind nicht nur für die Ausführung der Bauten am Strome von grofser Wichtigkeit, sondern sie dienen auch besonders dazu, die Eigenthümlichkeiten der Ströme genau kennen zu lernen. Ueber die Messungen selbst wird im Folgenden ausführlich die Rede sein, die Resultate derselben, die ich beispielsweise für den Rhein und die Weser berechnet habe, mögen aber schon hier mitgetheilt werden. Sie stellen sich am deutlichsten dar, wenn man sie als Curven aufzeichnet und zwar so, dafs die Zeit als Abscisse und die beobachtete Höhe als Ordinate angenommen wird.

Fig. 66 Taf. VIII. zeigt in den ausgezogenen Linien die eben erwähnten mittlern monatlichen Wasserstände, für verschiedene Beobachtungsorte an der Weser im Baukreise Minden. Die Höhen sind nach zehnjährigen Beobachtungen aus den Jahren 1833 bis 1842 berechnet, und zwar sind sie auf den mittlern Wasserstand dieser ganzen Periode reduzirt, der unter dem Beobachtungsorte beigeschrieben und in der mit Null bezeichneten Höhe angenommen ist. Es ergiebt sich hieraus, dafs der Wasserstand im Januar und März am höchsten und im September am niedrigsten zu sein pflegt, der Unterschied zwischen den mittlern Wasserständen dieser Monate beträgt durchschnittlich zwischen 4 und 5 Fufs. Die punktirten Linien in denselben Figuren bezeichnen wieder die Höhen der arithmetischen Mittel aus den höchsten so wie auch aus den niedrigsten Wasserständen, die in jedem Monate während derselben Periode vor gekommen sind.

Die einzelnen Beobachtungsorte zeigen wesentliche Verschiedenheiten, so z. B. beträgt bei Eisberge der Unterschied zwischen dem mittlern Wasserstande im März und September 5 Fufs 2 Zoll, bei Vlotho dagegen (nahe 2 Meilen davon entfernt) nur 3 Fufs 9 Zoll. Diese Abweichung ist in der Verschiedenheit des nächst unterhalb belegenen Flufsbettes begründet. Das relative Gefälle stellt sich zwar für die ganzen Strecken ziemlich gleichmäfsig dar. Dasselbe beträgt nämlich zwischen Eisberge und Vlotho $\frac{1}{2913}$ und zwischen Vlotho und Minden $\frac{1}{3282}$. Zunächst unterhalb Vlotho befindet sich aber eine starke Stromschnelle, die Vlothoer Gosse, welche die Abführung der Fluthen erleichtert, und überdies tritt der Strom hier in ein mehr geöffnetes Thal, welches in dieser Beziehung gleichfalls die Anschwellung mäfsigt.

In Fig. 65 sind die Wasserstände für Lüchtringen, Eisberge und Schlüsselburg, während des Zeitraumes von Mitte Mai bis gegen Ende Juli des Jahres 1843, aufgetragen, nachdem sie auf den mittlern Wasserstand reducirt worden. Es ergiebt sich aus dieser Zusammenstellung noch deutlicher, wie die Anschwellungen an verschiedenen Stellen des Stromes eine sehr verschiedene Höhe erreichen, und zwar ist dieser Unterschied wieder nicht constant, sondern bald stellt sich die Höhe an dem einen und bald an dem andern Orte gröfser heraus. Es mufs hierbei aber noch besonders darauf aufmerksam gemacht werden, dafs die Anschwellungen schneller eintreten als verschwinden, indem alle Fluthwellen in der Zeichnung an ihrer vordern Seite steiler sind als an der hintern. Auch die fast gleichzeitige Verbreitung der Anschwellung über die ganze Stromstrecke, welche diese Beobachtungen umfassen, verdient Erwähnung. Bei der Anschwellung in der Mitte des Monats Juli war an den drei Beobachtungsorten an demselben Tage die stärkste Erhebung des Wasserstandes eingetreten, beim Hochwasser im Mai und Juli wurde dagegen der höchste Wasserstand in Lüchtringen nur einen Tag früher, als in Schlüsselburg beobachtet, obgleich die Entfernung beider Orte von einander nach der Länge des Stromlaufes etwa 21 Meilen beträgt.

Ich habe ferner in Fig. 67 die Wasserstände zusammengestellt, welche an den verschiedenen Pegeln, wenn auch nicht ganz gleichzeitig, doch als Folge derselben Anschwellung sich darstellten. Die angegebenen Höhen bezeichnen nämlich die Maxima, oder die Minima der Wasserstände. Die obere Linie bezieht sich auf den ungewöhnlich hohen Wasserstand am 19. und 20. Januar 1841. Die Beobachtung desselben ist zum Theil nicht ganz sicher, indem die Pegel bei Höxter, Lüchtringen und Vlotho theils beschädigt, theils aber durch Eisversetzungen vom Strome getrennt wurden. Die folgenden Linien bezeichnen sämmtlich nur Wasserstände bei offnem Strome. Es giebt sich in ihnen grofsentheils eine gewisse Regelmäfsigkeit zu erkennen, und am auffallendsten ist hierbei der Unterschied zwischen Eisberge und Vlotho, der sich aus der bereits erwähnten Beschaffenheit des Flufsthales erklärt. Dieser Unterschied wird aber für kleinere Wasserstände immer geringer, bis er etwa bei dem Wasserstande von 2 Fufs unter dem mittlern ganz verschwindet. Sehr auffallend ist es, dafs er bei einem noch niedrigern Wasserstande sich in ent-

gegengesetztem Sinne zeigt, so dafs der Pegel zu Vlotho alsdann eine verhältnifsmäfsig gröfsere Höhe, als der zu Eisberge markirt.

Diese Zusammenstellung bezieht sich auf eine Periode, in welcher manche wichtige Correctionen bereits ausgeführt waren, und der Zustand des Stromes sich nicht wesentlich veränderte. Seit dem Jahre 1830 war die Stromregulirung kräftig betrieben und die wesentlichsten Schifffahrts-Hindernisse beseitigt. Der Einfluſs dieser Bauten giebt sich auch in den Wasserstandsbeobachtungen zu erkennen. Ich habe in der Zeichnung Fig. 68 die in jedem Jahre von 1819 bis 1843 beobachteten niedrigsten Wasserstände (jedoch mit Ausnahme derjenigen, die beim Eisgange oder bei Eisversetzungen eintreten) dargestellt, und zwar wieder auf die mittleren Wasserstände reducirt. Es ergiebt sich hieraus, wie nach dem Jahre 1830 andre Verhältnisse eingetreten sind. Dafs im Allgemeinen die spätern an den verschiedenen Pegeln beobachteten niedrigsten Wasserstände näher zusammenfallen, als es früher geschah, erklärt sich dadurch, dafs die mittlern Wasserstände aus den Beobachtungen von 1833—1842 hergeleitet sind, und sonach der Nullpunkt für diese Scale nach einer Rechnung ermittelt ist, der die letzten, aber nicht die frühern niedrigsten Wasserstände zum Grunde liegen. Die Wasserstände von Vlotho und Minden und ebenso die von Petershagen und Schlüsselburg haben sich im Laufe der Zeit gegen einander nicht wesentlich verändert, aber eine sehr bedeutende Aenderung ist in der gegenseitigen Lage der ersten beiden gegen die letzten eingetreten. Für die gewählte Reduction waren sie vor dem Jahre 1830 etwa um einen Fufs von einander verschieden, später sind sie aber so nahe zusammen gerückt, dafs sie sich zum Theil sogar kreuzen. Namentlich ist die Aenderung des Wasserstandes bei Minden gegen den bei Schlüsselburg sehr auffallend, und es ist wohl nicht in Abrede zu stellen, dafs die bedeutenden Correctionen unterhalb Minden hierauf Einfluſs gehabt haben, während andrerseits die Untiefen unterhalb Schlüsselburg in demselben Zeitraume zunahmen und daher hier der Wasserspiegel sich heben mufste.

Demnächst theile ich ähnliche Zusammenstellungen der Wasserstände des Rheins mit. Ich habe dieselben, soweit es mir möglich war, auf die ganze Länge seines Laufes ausgedehnt, mir fehlten jedoch dabei die Beobachtungen in der sehr wichtigen Strom-

strecke zwischen Ketsch, oberhalb Mannheim, und Bacharach, in welche der Neckar, der Main und die Nahe einmünden.

Für alle Punkte, von denen ich mir ausgedehnte Beobachtungsreihen verschaffen konnte, habe ich die mittlern Wasserstände jeden Monats und die arithmetischen Mittel aus den höchsten, sowie auch aus den niedrigsten Wasserständen für jeden Monat berechnet. Fig. 69, Taf. IX. enthält die Resultate dieser Rechnungen. Dabei sind die Höhen auf den mittlern Wasserstand reducirt, der jedesmal in der mit Null bezeichneten Linie liegt. Der mittlere Wasserstand ist nach dem Maafse des betreffenden Pegels unter dem Beobachtungsorte beigeschrieben, für die Auftragung der Scalen ist aber das Rheinländische Fufsmafs eingeführt. Die in Friedrichshafen angestellten Beobachtungen hat Plieninger *) mitgetheilt, die Wasserstände für Basel, Kehl und Lauterburg sind aus Defontaine's Angaben **) entnommen, und endlich habe ich für die Niederländischen Beobachtungen die Tabelle benutzt, welche Krayenhoff ***) darüber mittheilt. Durch die im Preufsischen angestellten Beobachtungen sind die mittlern Wasserstände aus der Periode von 1833 bis 1842 hergeleitet. Die auswärtigen Beobachtungen umfassen verschiedene Zeiträume. Die ausgezogene Linie bezeichnet den mittlern Wasserstand, die punktirten Linien dagegen die arithmetischen Mittel aus den höchsten und aus den niedrigsten Wasserständen.

Die auffallendste Erscheinung, welche der erste Anblick dieser Scalen erkennen läfst, ist die Verschiedenheit der Zeit des Eintritts des Hochwassers. Vom Bodensee bis Ketsch erfolgt derselbe durchschnittlich im Monat Juli, von Bacharach abwärts dagegen im Februar. Der obere Theil des Stromes wird durch die Wasserstände des Bodensees normirt, welche durch das Schmelzen des Eises in der Schweiz bedingt sind, und diese Anschwellungen geben sich bis Vianen noch deutlich zu erkennen. Die Seitenzuflüsse werden aber auf andre Weise gespeist und schwellen, ähnlich der Weser, im ersten Frühjahr oder beim Abgange des Winters am stärksten an. Indem sie ihre Fluthen dem Rhein zuführen, so heben sie immer

*) Jahresberichte der Witterungsverhältnisse in Würtemberg.

**) *Annales des ponts et chaussées* 1833. *II.*

***) Verzameling van hydrographische en topographische Waarnemingen. Amsterdam 1813.

mehr und mehr den Wasserspiegel desselben, und bewirken in ihm eine viel höhere Anschwellung, als der höchste Wasserstand im Bodensee veranlassen konnte.

Die gröfsere oder mindere Erhebung des Wasserspiegels über den mittlern Wasserstand ist an den verschiedenen Orten, theils durch die Beschaffenheit des zunächst unterhalb belegenen Strombettes, theils aber durch die Zuflüsse in der Nähe bedingt. Die geringe Erhebung des mittlern Wasserstandes für den Monat Januar bei Coblenz dürfte wohl allein dadurch zu erklären sein, dafs der dortige Pegel nicht allein durch die Fluthen des Rheins, sondern auch durch die der Mosel bedingt ist, und indem der Eisgang und die damit verbundene Anschwellung in beiden Strömen nicht gleichzeitig eintritt, so treffen diese Wassermassen nicht zusammen, sondern eine wird nach der andern abgeführt, und die Erhebung des Wasserspiegels stellt sich sonach geringer heraus, als sie entgegengesetzten Falls sein würde. Die grofsen Anschwellungen bei Basel, Bacharach, Ruhrort und Wesel erklären sich aber durch die Beschränkung der unterhalb befindlichen Stromprofile.

Fig. 62 auf Taf. VII. stellt die Wasserstände des Rheins an den verschiedenen Beobachtungs-Orten noch übersichtlicher dar. Die Linie *A*, von welcher ab die Höhen und Tiefen gemessen sind, bezeichnet die mittlern Wasserstände, wie sie auf Taf. IX. nach den localen Pegeln angegeben sind. Die schwächeren Linien *B* und *C* sind die arithmetischen Mittel aus den höchsten, so wie aus den niedrigsten Wasserständen jedes Jahres. Sie zeigen, dafs die Anschwellungen in Ruhrort sich im Allgemeinen am höchsten herausstellen, während sie im Bodensee am geringsten sind. Dagegen sinkt der Wasserspiegel wieder im Bodensee am wenigsten und bei Wesel am tiefsten unter seinen mittlern Stand herab. Die drei punktirten Linien *E*, *F* und *G* markiren die mittlern Wasserstände, sowie auch die durchschnittlich höchsten und niedrigsten Wasserstände im Monat Juli, sie stellen also die aus der Schweiz herrührenden Anschwellungen dar, welche stromabwärts immer unbedeutender werden. Sehr entsprechend diesen Linien, jedoch im entgegengesetzten Sinne gekrümmt, sind die drei ausgezogenen Linien *H*, *I* und *K*, welche die mittlern und die durchschnittlich höchsten und niedrigsten Wasserstände des Monats Februar bezeichnen. Letztere bedingen die höchsten Anschwellungen am Unterrhein. Diese symme-

trische Gestaltung der Curven für den Februar und Juli erklärt sich dadurch, dafs der allgemeine mittlere Wasserstand in der geraden Linie angenommen wird, je gröfser der Einfluſs der einen Anschwellung auf die Bestimmung dieses mittlern Wasserstandes ist, um so geringer mufs der der andern sein, daher kommt es, dafs die eine dieser Curven steigt, wenn die andere sinkt. Die auffallende Ausnahme, welche in dieser Beziehung Bacharach zeigt, erklärt sich durch die starken Anschwellungen, welche hier regelmäfsig durch Eisversetzungen hervorgebracht werden, und welche Ursache sind, dafs der mittlere Wasserstand hier unverhältnifsmäfsig hoch sich herausstellt. Wenn man diese hohen und gewöhnlich lange anhaltenden Wasserstände unbeachtet lassen dürfte, so würden die sämmtlichen Curven bei Bacharach sich zugleich mit dem mittlern Wasserstande senken, und auch hier in entsprechender Weise gekrümmt sein.

Endlich sind in Fig. 63 noch die mittlern, sowie die absolut höchsten und niedrigsten Wasserstände jedes Jahres von 1800 bis bis 1870 für Düsseldorf dargestellt. Eine gewisse periodisch oder in gleichen Zeiträumen wiederkehrende Erhebung und Senkung giebt sich dabei nicht zu erkennen, und eben so wenig bemerkt man, dafs die mittlern und die kleinsten Wasserstände im Laufe der Zeit niedriger werden, wenigstens ergiebt diese Scale, dafs wenn eine solche Senkung vorhanden wäre, sie höchst unbedeutend sein müfste, und sich selbst in dem langen Zeitraume von 71 Jahren nicht mit Sicherheit nachweisen läfst.

Ich versuchte noch einzelne Beharrungswasserstände und namentlich die höchsten Anschwellungen des Rheins durch die verschiedenen Beobachtungsorte zu verfolgen. Dieses war jedoch für längere Strecken nicht möglich, weil theils die vorliegenden Beobachtungen nicht dieselben Zeiträume umfassen, theils aber auch die Einwirkung der Seitenzuflüsse sich gewöhnlich so überwiegend herausstellt, dafs es nicht zu ermitteln war, ob die vorkommenden Anschwellungen von den letztern oder vom Oberrhein herrühren. Ich will indessen hier einige Angaben mittheilen, die einigermafsen zur Beurtheilung der Geschwindigkeit dienen können, mit welcher die Fluthen fortschreiten. Die nachstehend bezeichneten Tage sind diejenigen, an welchen der Wasserstand jedesmal die gröfste Höhe erreichte.

In Basel	den	1.	Juli	1816.
- Kehl	-	4.	-	-
- Cöln	-	7.	-	.
- Düsseldorf	-	6.	-	-
- Ruhrort und Wesel . . .	-	8.	-	-
- Rees, Emmerich u. Arnheim	-	9.	-	-

ein anderes Maximum

in Basel und Kehl	den	22.	Decbr.	1819.
- Söllingen	-	23.	-	-
- Bacharach und Coblenz .	-	25.	-	-
- Cöln und Düsseldorf . .	-	26.	-	-
- Ruhrort	-	27.	-	-
- Wesel	-	28.	-	-
- Emmerich	-	29.	-	-

ferner

in Basel und Kehl	den	27.	August	1824.
- Coblenz	-	31.	-	-
- Bonn und Ruhrort . . .	-	1.	Septbr.	-
- Wesel und Rees	-	2.	-	-

und endlich trat eine besonders hohe Anschwellung ein

in Basel und Kehl	den	4.	Novbr.	1824.
- Coblenz und Cöln . . .	-	5.	-	-
- Düsseldorf und Ruhrort .	-	6.	-	-
- Wesel, Rees und Emmerich	-	7.	-	-

Das sehr schnelle Vorrücken des Hochwassers im letzten Falle hatte ohne Zweifel seinen Grund darin, dafs der im ganzen Stromgebiete gleichzeitig eintretende starke Regen in den Nebenflüssen und durch diese auch im untern Rhein schon die höchste Anschwellung hervorbrachte, bevor die Fluthen vom Oberrhein herabkamen. Nach den vorstehenden vier Beobachtungen legt das Hochwasser den Weg von Basel bis Coblenz oder Cöln durchschnittlich in $3\frac{1}{2}$ und von hier bis Emmerich in $2\frac{3}{4}$ Tagen zurück, es durchläuft also von Basel bis gegen Bonn durchschnittlich an einem Tage 19, und von Bonn bis Emmerich 9 Meilen. Die Geschwindigkeit beträgt daher respective $5\frac{1}{3}$ und $2\frac{1}{2}$ Fufs in der Secunde. Die erste Geschwindigkeit stimmt mit derjenigen ziemlich nahe überein, welche die Anschwellungen in der Weser nach den vorstehenden Mittheilungen zu haben scheinen. Es ergiebt sich indessen aus den Beobachtungen

für beide Ströme, dafs im Allgemeinen das Fortschreiten des Hochwassers immer um so schneller erfolgt, je höher es ist, und dafs geringe Anschwellungen sich nur sehr langsam bewegen.

Hiernach müfste in solchen Strömen, die wegen der weiten Verbreitung der Niederungen, welche sie durchfliefsen, nur geringe Anschwellungen zeigen, auch die Geschwindigkeit der letztern sehr unbedeutend bleiben. Dieses bestätigt sich sehr auffallend an der Spree. Der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstande jedes Jahres beträgt für dieselbe durchschnittlich

im Oberwasser bei Cottbus . .	3½	Fufs,
im Unterwasser daselbst . . .	4½	-
bei Beeskow	4½	-
im Oberwasser bei Berlin . . .	3½	-
im Unterwasser daselbst . . .	4½	-

Die periodisch eintretenden Veränderungen des Wasserstandes stellen sich hiernach sehr geringe heraus, und es ist in vielen Fällen nicht zu erkennen, ob die an den verschiedenen Pegeln beobachteten Hochwasser wirklich die Folge derselben Fluthen sind. Nichts desto weniger giebt sich doch bei den Anschwellungen zur Zeit des Abganges des Eises eine gewisse Regelmäfsigkeit in dem Fortschreiten des höchsten Wasserstandes zu erkennen, und zwar tritt das höchste Wasser in Beeskow durchschnittlich 14 Tage später als in Cottbus und in Berlin wieder um 14 Tage später als in Beeskow ein. Die Entfernungen betragen respective 15 und 12 Meilen. Die Fluth bewegt sich also mit der sehr geringen Geschwindigkeit von nahe ½ und ¼ Fufs in der Secunde und legt an einem Tage noch keine volle Meile zurück.

Bei kleinen Flüssen, welche zur Zeit eines niedrigen Wasserstandes nur nothdürftig die daran gelegenen Mühlen im Betriebe erhalten, und welche ganz oder doch grofsentheils gesperrt werden, sobald die Mühle nicht arbeitet, hat man Gelegenheit die Bewegung des höhern Wassers, sobald der Betrieb der Mühle wieder anfängt, sehr sicher wahrzunehmen. Wenn die Mühlen in Telgte an der Ems, nachdem sie Sonntags aufser Betrieb gestellt gewesen, am Montage wieder angelassen werden, so bemerkt man in dem Städtchen Rheine gewöhnlich 60 Stunden später die Ankunft des höhern Wassers, bei sehr kleinem Wasserstande verzögert sich dieselbe aber bis auf 84 Stunden. Die Entfernung beider Orte beträgt in der Länge des

Flufslaufes etwa 10 Meilen, woher die Geschwindigkeit der Fluthen ungefähr 1,1 oder bei kleinem Wasser 0,8 Fufs in der Secunde ist.

Die Anschwellungen der Ströme zeigen, wie erwähnt, die auffallende Erscheinung, dafs sie viel schneller entstehen, als verschwinden. Die Ursache hiervon scheint in verschiedenen Umständen zu liegen. Zunächst findet der Wechsel der Witterung selbst gewöhnlich in der Art statt, dafs besonders nach lange anhaltender Dürre der Regen sich plötzlich bildet, und der Uebergang von demselben zum heitern Wetter nur langsam erfolgt. Eben so pflegt auch im Frühjahr die Temperaturzunahme der Luft ziemlich schnell einzutreten, wodurch grofse Massen von Eis und Schnee in kurzer Zeit schmelzen, und dadurch ein plötzliches Steigen des Wassers in den Strömen veranlassen. Die Wassermenge, welche in dem einen und dem andern Falle den Strömen zugeführt wird, erfährt aber auf dem Wege dahin vielfache Verzögerungen. Ein grofser Theil dringt in den Boden und wird erst später durch Quellen wieder abgeführt, wogegen auch das Wasser, welches sich schon in den Betten der Bäche und Flüsse angesammelt hatte, beim Anschwellen derselben über die niedrigen Ufer tritt, und hier entweder gar keine, oder nur eine schwache Bewegung annehmen kann, bis es endlich, wenn das Bette weniger angefüllt ist, wieder in dieses zurückfliefst. Hierdurch wird offenbar auch das Anschwellen der Ströme etwas verzögert, aber die atmosphärischen Niederschläge sind zu Zeiten so grofs, und liefern solche Quantitäten Wasser, dafs ohne diese Regulirung der Zuflüsse die Ströme noch viel gröfsern Wechseln ausgesetzt sein würden. Es ergiebt sich hieraus aber auch, dafs die Anschwellungen der Hauptströme anfangs nur durch diejenige Wassermenge veranlafst werden, welche ihnen sogleich zufliefst, und der gröfsere Theil der Niederschläge, sowie auch die Zuflüsse aus entfernteren Gegenden erst später ankommen und eine nachhaltige Speisung bewirken.

Endlich ist auch der Wechsel des Gefälles, sowohl im Strome selbst, als in seinen Zuflüssen, von wesentlichem Einflusse auf die schnelle Bewegung der Anschwellung und die späte Wiederkehr des kleinen Wasserstandes. Diese Anschwellung bildet nämlich einen weit ausgedehnten Wasserberg oder eine Welle, die sich in der Richtung des Stromes fortbewegt, auf ihrer vordern Abdachung ist das Gefälle stärker, und auf ihrer hintern schwächer, als das des

Stromes in seinem normalen Zustande. Durch das Gefälle wird die Geschwindigkeit des fliefsenden Wassers bedingt, es mufs daher der vordere Theil der Fluthwelle bis zum Scheitel schneller vorrücken, als der hintere. Die Welle wird also während ihres Fortschreitens nach hinten zu sich immer weiter ausdehnen, oder immer flacher werden. Es ergiebt sich hieraus, dafs die Höhe der Welle nach und nach abnehmen mufs, weil sonst die erwähnte flache Neigung sich nicht darstellen könnte.

Wie bedeutend das Gefälle sich bei der Anschwellung verändert, namentlich bei gröfsern Strömen, die kein starkes Gefälle haben, läfst sich leicht an einem Beispiele nachweisen, welches ungefähr die Verhältnisse des untern Rheines darstellt. Gesetzt, der Strom wachse in 24 Stunden um 4 Fufs an, wie dieses beim Rhein selbst ohne Einwirkung des Eisganges zuweilen vorkommt. Alsdann beträgt die Erhebung des Wasserspiegels in einer Secunde durchschnittlich $\frac{1}{21600}$ Fufs. Die Geschwindigkeit mag beim normalen Gefälle 3 Fufs betragen, so wird das Wasser sich nunmehr auf einer Fläche bewegen (oder einem entsprechenden Drucke ausgesetzt sein), die auf 3 Fufs Länge um die angegebene Quantität stärker geneigt ist, als früher, d. h., das relative Gefälle vermehrt sich um $\frac{1}{64800}$. Wenn das normale Gefälle $\frac{1}{10000}$ beträgt, so wird es während des Steigens des Wassers $\frac{1}{8700}$ sein, und ginge das Fallen des Wassers eben so rasch vor sich, wie das Steigen, so würde das Gefälle auf der hintern Seite der Welle nur $\frac{1}{12000}$ betragen. Hieraus ergeben sich für beide Abhänge der Welle wesentlich verschiedene Geschwindigkeiten, und man bemerkt, dafs die hintere Abdachung der Welle der vordern nicht gleichmäfsig folgen kann, und immer mehr und mehr zurückbleiben mufs. Bei gröfserm relativen Gefälle und gröfserer Geschwindigkeit des Stromes, sowie auch andrerseits beim langsamen Steigen des Wassers wird freilich die Verschiedenheit der Gefälle geringer ausfallen, aber dennoch bedeutend genug bleiben, um während des ganzen Weges, den die Welle zurücklegt, eine merkliche Verlängerung derselben hervorzubringen, die sich besonders in der geringen Neigung ihrer hintern Fläche oder in einem nur langsamen Fallen des Wasser zu erkennen giebt.

Es schliefst sich an diese Erscheinung eine Erfahrung an, welche auf gröfsern Strömen von den Schiffern vielfach gemacht wird. So lange nämlich das Wasser noch schnell wächst, ist seine Ge-

schwindigkeit viel gröfser oder die Strömung viel heftiger, als wenn es zu fallen anfängt, woher während der Anschwellung die Anker sich leichter lösen und die Schiffe zu treiben anfangen, als dieses später bei gleich hohem Wasserstande geschieht. Jedenfalls ergiebt sich hieraus, dafs die Annahme, als ob bei denselben Wasserständen jedesmal dieselben Wassermengen abgeführt werden, nicht in aller Strenge richtig sein kann.

Die Kenntnifs der verschiedenen Wassermengen eines Stromes ist für die passende Anordnung der an demselben auszuführenden Bauten von grofser Bedeutung. Es mögen daher hier noch einige Mittheilungen folgen, die sich namentlich auf das Verhältnifs zwischen den gröfsten und kleinsten Wassermengen beziehn, die derselbe Strom in verschiedenen Zeiten abführt. Einige hierher gehörige Angaben in Bezug auf die Nebenflüsse des Missisippi sind bereits im ersten Theile §. 6. gemacht worden.

Der Hinterrhein führt unterhalb Tusis im Canton Graubündten nach Nicca bei kleinem Wasser 506, bei hohem Wasser dagegen 35 500 Cubikfufs ab. Das Verhältnifs der Wassermenge ist also wie 1 : 70.

Wesentlich verschieden stellt sich das Verhältnifs weiter unterhalb heraus. Der Bodensee sammelt die Wassermassen, welche bei starken Anschwellungen des Rheins ihm zufliefsen, und indem er dieselben nur nach und nach wieder abgiebt, so bewirkt er eine viel gleichmäfsigere Speisung der folgenden Stromstrecken. Die Wassermenge beträgt *)

bei Basel während des kleinsten Wassers	10670	Cubikfufs,
- - höchsten -	149500	-
daher das Verhältnifs beider nahe wie	1 : 14	
bei Alt-Breisach beim kleinsten Wasser .	11000	Cubikfufs,
- höchsten -	149700	-
das Verhältnifs beider wie	1 : 13,6	
bei Kehl beim kleinsten Wasser	11300	Cubikfufs,
- höchsten -	151500	-
das Verhältnifs beider	1 : 12,3	
bei Lauterburg beim kleinsten Wasser . .	15040	Cubikfufs,
- höchsten - . .	162000	-
das Verhältnifs beider	1 : 10,8	

*) *Annales des ponts et chaussées* 1833. *II.* p. 21.

Die Ursache, dafs das Verhältnifs der Wassermasse zur Zeit der höchsten Anschwellung sich zu der des kleinsten Wassers stromabwärts immer geringer herausstellt, ist ohne Zweifel darin zu suchen, dafs die Nebenflüsse eine andere Periode der Anschwellung haben, als der eigentliche Rhein und der Bodensee, und ihr Einfluſs daher immer um so stärker wird, in je gröfserer Anzahl sie sich in den Rhein ergiefsen.

Wenn man die zur Zeit des Eisganges und des Eisstandes eintretenden höchsten und niedrigsten Wasserstände ausschliefst, welche durch partielle oder auch vollständige Sperrungen des Stromes verursacht werden, und daher keineswegs der ganzen durch den Strom abzuführenden Wassermenge entsprechen, so ergeben sich für den Rhein in der Nähe der niederländischen Grenze die Wassermengen ungefähr in folgender Art,

beim kleinsten Wasser . . . 30000 Cubikfufs,
- höchsten - . . . 200000 -
oder das Verhältnifs beider . . . 1 : 6,6

Für die Ruhr giebt Henz *) die Wassermenge zur Zeit des sehr kleinen Wassers im August 1838 zu 277 Cubikfufs und zur Zeit des sehr grofsen Hochwassers im November 1841 zu 37671 Cubikfufs an, während sie beim bekannten höchsten Wasserstand im April 1808 ungefähr 55346 Cubikfufs gewesen sein soll. Das Verhältnifs der kleinsten Wassermenge zu der des höchsten stellt sich also respective wie 1 : 136 und 1 : 200 heraus.

Minard **) theilt von mehreren französischen Flüssen und Strömen die Wassermengen zur Zeit des niedrigen Sommerwassers und des Hochwassers mit, die auf Rheinländisches Maafs reducirt nachstehend angegeben sind. Minard selbst macht indessen auf die Unsicherheit in der Bestimmung der Quantität der gröfsten Anschwellungen aufmerksam.

	b. klein. Wasser.	b. hoh. Wasser.	Verhältnifs.
Die Oise bei Creil	1000	16200	1 : 16,2
Die Maas am Ardennen-Canal .	711	16200	1 : 22,6
Die Maas oberhalb der Sémoise	1080	19400	1 : 18,0
Die Midouze bei Mont-de-Marsan	404	11232	1 : 27,8

*) Der Ruhrstrom und seine Schiffahrtsverhältnisse. Seite 4.

**) *Cours de construction.* Seite 23.

	b. klein. Wasser.	b. hoh. Wasser.	Verhältnifs.
Die Saône bei St. Jean de Losne	854	25867	1 : 30,3
Die Aisne bei Berry au Bac .	388	14712	1 : 37,9
Die Mosel oberhalb Metz . .	660	64700	1 : 98,0
Die Garonne bei Toulouse . .	1164	184300	1 : 158,4
Die Garonne oberhalb des Tarn	2813	388000	1 : 137,9
Der Tarn bei Alby	485	129300	1 : 266,6
Die Loire bei Briare	1035	323300	1 : 312,4
Der Allier bei le Guétin . .	517	194000	1 : 375,2

Die höchsten, so wie auch die niedrigsten Wasserstände kommen bei den meisten Strömen zur Zeit der Eisgänge vor, eine theilweise oder vollständige Sperrung des Bettes durch das Eis verursacht nämlich oberhalb einen Aufstau und unterhalb, in Folge des verminderten Zuflusses, ein starkes Sinken des Wassers. Die Anschwellung wie die Senkung kann aber, wenn die Sperrung eine grofse Ausdehnung gewonnen hat, und lange anhält, die Grenzen des Wasserstandes bei offnem Strome weit überschreiten. Aufserdem pflegt auch bei dauerndem starken Froste in Folge des Versiegens der Quellen gleichfalls ein sehr niedriger Wasserstand einzutreten.

Ein vollständiges Zufrieren des ganzen Stromes stellt sich selbst in den Gegenden, wo die Winter strenge sind, nur in dem Falle ein, wenn die Geschwindigkeit des Wassers geringe ist, bei stärkerer Strömung erfolgt die Bildung der Eisdecke durch die herabtreibenden Schollen oder kleinern Eisstücke, welche sich da, wo die Geschwindigkeit abnimmt, oder wo irgend eine andre Ursache der Hemmung eintritt, übereinander schieben und alsdann zusammenfrieren. Dieses gilt indessen nur für das eigentliche Strombette. Wenn der Frost bei hohem Wasserstande eintritt, wobei das ganze Stromthal inundirt ist, so gefriert das Wasser über den Wiesengründen zur Seite des Bettes, wie stehendes Wasser, und wenn alsdann ein höherer Wasserstand erfolgt, der diese Eisdecke hebt und löst, so sind es besonders die hier gebildeten grofsen Schollen, welche der untern Stromstrecke das Eis liefern, und daselbst Eisstopfungen veranlassen. Aufserdem trägt das lose sogenannte Grundeis auch zur Bildung grofser Eisflächen auf dem Strome vielfach bei, und dieses sieht man bei starkem Froste und ohne vorhergegangenen Wasserwechsel in grofsen Massen treiben, so dafs oft die ganze

Oberfläche des Stromes damit bedeckt ist. Die Bildung des Grundeises erfolgt, nach vielfachen Erfahrungen, zum Theil am Grunde des Stromes, vorzugsweise aber in der Nähe des Ufers und auf Sandbänken.

Stehendes Wasser gefriert zuerst an der Oberfläche, weil die stärkste Verdichtung des Wassers nicht der stärksten Abkühlung entspricht, vielmehr etwa bei $3\frac{1}{2}$ Graden Réaumur über dem Gefrierpunkte stattfindet. Die Wassertheilchen, welche diese Temperatur angenommen haben, sammeln sich daher über dem Boden an, sobald sie aber noch kälter werden, so dehnen sie sich wieder aus oder werden specifisch leichter. So geschieht es, dafs die am stärksten abgekühlten Theilchen unmittelbar die Oberfläche bilden, und daher das Eis sich grade hier am ersten zeigt, wogegen das Wasser in gröfserer Tiefe nicht so stark abgekühlt wird, dafs es gefrieren könnte, oder wenn dieses doch geschieht, so erfolgt es, indem die Eisdecke an Stärke zunimmt, und sich daher von oben nach unten ausdehnt, bis die ganze Wassermasse in Eis verwandelt ist. Auf diese Weise bildet sich in stehendem Wasser niemals das Eis am Boden früher, als oben.

Ganz anders sind die Verhältnisse, wenn das Wasser stark fliefst. Die heftige Bewegung gestattet weder eine regelmäfsige Schichtung der Wassertheilchen nach Maafsgabe ihres verschiedenen specifischen Gewichtes oder ihrer Temperatur, noch auch überhaupt die Bildung des Eises, so lange diese heftige Bewegung fortdauert. Nichts desto weniger theilt sich die Kälte der Luft doch nach und nach dem Wasser mit, und dasselbe erkaltet bis zum Gefrierpunkte oder auch wohl noch darunter. Wo dasselbe alsdann einer starken Strömung nicht ausgesetzt ist, und zur Ruhe kommt, gefriert es, indem einzelne Crystalle in Form dünner Nadeln sich bilden und dadurch zunächst lockere Eismassen in der Nähe des Grundes entstehn. Bevor dieselben indessen in einem compacten Zustand übergehn, so giebt die Veränderung des specifischen Gewichtes schon Veranlassung, dafs sie sich im Wasser erheben und forttreiben. Zuweilen haften Sandkörnchen oder Steinchen an diesem Eise und beschweren es so sehr, dafs es am Boden bleibt. Es löst sich alsdann nur bei Vergröfserung der Masse oder indem durch äufsere Veranlassung eine Trennung erfolgt. So bemerken die Schiffer oft, dafs beim Aufstofsen der Stangen auf den Grund, grofse Massen Eis

auftauchen. Dasselbe kann sich aber auch dadurch von seinen Umgebungen ablösen, dafs der Stofs des Wassers, der sich mit der Ausdehnung der getroffenen Fläche vergröfsert, den Widerstand überwindet und es forttreibt. Es ist klar, wie diese Eisbildung an allen Stellen des Stromes erfolgen mufs, wo das Wasser sich langsam bewegt, sie findet daher längs den Ufern und namentlich in kleinen Buchten statt, ferner auf hohen Sandbänken, die den Strom spalten und von der heftigen Strömung nicht getroffen werden, und endlich auch an der Sohle des Bettes, wo die Geschwindigkeit gewöhnlich am geringsten ist. Hieraus erklärt es sich, wie die Ströme bei starkem Froste in kurzer Zeit mit solchen Eismassen bedeckt werden, ohne dafs man irgendwo eine Eisbildung an der Oberfläche wahrnimmt, und ohne dafs dieses Eis durch Nebenflüsse zugeführt wird. Beiläufig mufs aber noch erwähnt werden, dafs nach den hierüber angestellten Untersuchungen nur bei einer starken Wärmeausstrahlung oder bei heiterm Himmel die Bildung des Grundeises erfolgt, und dieses wahrscheinlich defshalb, weil nur in diesem Falle eine rasche Abkühlung des Wassers stattfinden kann.

Das erwähnte lockere Grundeis, sowie auch alle sonstigen Eisstücke folgen dem Strome, da sie aber nicht so leicht, wie das Wasser den vorkommenden Hindernissen ausweichen können, so werden sie häufig aufgehalten. Wo eine verminderte Geschwindigkeit des Stromes eintritt, sammelt sich das Eis an und bedeckt die Oberfläche so dicht, dafs die Stückchen sich gegenseitig und längs dem Ufer zu reiben anfangen. Dieses verursacht eine Verminderung der Bewegung, wodurch wieder das Gefrieren des Wassers befördert wird. Auf solche Weise bildet sich stellenweise eine zusammenhängende Eisdecke oder eine Eisstopfung quer über den Strom, welche durch die nachfolgenden Eismassen sich stromaufwärts weiter ausdehnt. Gewöhnlich stellt sich dieses Eis so lose, dafs es sogleich wieder in Bewegung kommt, wie das Wasser in Folge der Sperrung anschwillt und einen gröfsern Druck ausübt. Anderntheils stellt sich dieses Treibeis auch am Ufer fest, sobald es nur einigen Schutz findet. Dieses geschieht besonders an den Stellen, wo der Strom sehr unregelmäfsig ist und scharfe Krümmungen bildet. Das Eis wird hier gegen das concave Ufer heftig hingetrieben, und da es immer an der Oberfläche bleibt, so kann es dem Wasser, welches bei der grofsen Tiefe an solchen Stellen einen leichten Ausweg

findet, nicht schnell genug folgen, es sammelt sich daher an, und bildet einen breiten Rand vor dem Ufer, der meist sehr regelmäfsig begrenzt ist. Längs diesem Rande schwimmen in drehender Bewegung die nachfolgenden Eisstückchen vorbei, und leicht stellt sich eine Reihe derselben vor dem frühern Rande fest und rückt denselben auf diese Weise weiter in den Strom hinaus. An dem gegenüberliegenden convexen Ufer, vor welchem die Strömung mäfsiger ist, häufen sich gleichfalls die hingetriebenen Eisstückchen an, und bilden einen gleichen Rand, so dafs der Strom an solchen Stellen, w. z. B. in der Krümmung vor Düsseldorf, oft zwischen zwei Eisufern zusammengedrängt mit grofser Heftigkeit hindurchströmt, ohne dafs er dieselben fortbrechen kann. Namentlich findet dieses bei starkem Froste statt, weil alsdann die Eisstücke, sobald sie zufällig aufgehalten werden, schnell zusammen frieren.

In dem erwähnten Falle und selbst wenn eine vollständige Eisdecke sich bildet, verursacht dieselbe in der Regel noch keinen starken Aufstau, indem sie nicht in die Tiefe herabreicht, und daher nur mäfsig das Profil des Stromes beschränkt. Solche Stopfungen sind daher an sich wenig gefährlich. Anders verhält es sich aber, wenn gröfsere Schollen ankommen, und sich feststellen. Auch dieses geschieht vorzugsweise da, wo der Strom unregelmäfsig ist, und sein Profil sich plötzlich verändert, doch kann auch die erwähnte lose Eisdecke leicht Veranlassung zum Aufhalten der gröfsern Eistafeln geben, und selbst Eistafeln bilden, die den untern Gegenden Gefahr drohen. Solche Schollen kommen vermöge ihrer gröfsern Masse nicht so leicht zur Ruhe, wie kleine Stückchen, sie stofsen heftig gegen die Eisdecke, die ihre Bewegung hemmt, und indem die beiden zusammentreffenden Ränder stark abbrechen, so geschieht es gemeinhin, dafs eine ankommende Tafel sich mit dem vordern Ende auf, oder unter die feststehende Eisdecke schiebt. In beiden Fällen nimmt sie eine schräge Lage an und bezeichnet dadurch der nächsten Tafel schon denselben Weg. Dabei dehnt sich die Eisstopfung nicht nur stromaufwärts weiter aus, sondern sie nimmt auch an Stärke zu. Sobald aber das stehende Eis viel dicker ist, als die ankommende einfache Tafel, so schiebt sich letztere leichter herauf, als unter dieselben. Auf solche Weise bilden sich durch das fortwährende Uebereinanderschieben der Schollen sehr feste Eisdämme, und dieselben senken sich, wie die Eismasse über Wasser

wächst. Es zeigt sich aber bei solcher Versetzung des Stromes bald eine bedeutende Verminderung des Abflufsprofiles, das zufliefsende Wasser wird daher nicht vollständig abgeführt, und staut davor auf, während es dahinter abfällt. Beide Umstände wirken nur auf die Vergröfserung des Uebelstandes und auf die weitere Ausbildung des Dammes, denn die vom Strome zugeführten Schollen können sich um so leichter auf die schon festliegenden aufschieben, während der hintere Theil des Dammes vermöge der Senkung des Wasserspiegels gleichfalls sich senkt und das Durchflufsprofil noch mehr beschränkt.

Es giebt keine Grenze für solche Eisstopfungen, und die höchsten Wasserstände, die man überhaupt kennt, stellen sich bei dieser Veranlassung ein. Im Allgemeinen kann die Katastrophe sich um so vollständiger ausbilden, je niedriger der Wasserstand beim Beginne derselben war, denn um so weniger ist das Durchflufsprofil unter der Eisdecke geöffnet, und daher nicht geeignet, die spätere gröfsere Wassermasse abzuführen. Dagegen giebt es so viele Zufälligkeiten, welche den Eisdamm wieder in Bewegung setzen und zerstören, dafs die Wahrscheinlichkeit eines grofsen Unglücks doch um so geringer ist, je niedriger das Wasser beim Beginn des Eisganges war.

Die zufälligen Umstände, durch welche der Eisdamm zerstört wird, sind einestheils eine starke Zunahme der Lufttemperatur, besonders aber ein warmer Regen, wobei das Eis mürbe wird und seine Festigkeit verliert, so dafs es durch das Wasser leicht gelöst und fortgetrieben werden kann. Demnächst kann der verstärkte Strom unter der Eisdecke auch leicht solche Aenderungen im Bette hervorbringen, dafs der Damm zerfällt und fortgetrieben wird. Gemeinhin findet aber das Wasser, sobald es vor dem Damme immer höher und höher steigt, einen Seitenabflufs, der sich bald verbreitet und die ganze Wassermasse dem Strombette unterhalb des Dammes zuführt. Dort hebt sich alsdann der Wasserspiegel, und dadurch werden sogleich einzelne Eismassen gelöst und fortgetrieben.

Der Eisdamm löst sich, wenn die Schollen, die seinen vordern Fufs bilden, gehoben werden und fortschwimmen, will man also künstlich auf die Entfernung einer Eisstopfung hinwirken, so kann dieses nur dadurch geschehn, dafs man an der stromabwärtsge-

legenen Seite die Schollen zu trennen sucht. Es sind in dieser Beziehung verschiedentlich Versuche angestellt worden, welche wohl die Möglichkeit zeigen, einen Theil des Eises zu beseitigen, die Erfolge pflegen aber so geringe zu bleiben, dafs man dadurch allein, wenn die Natur nicht zu Hülfe kommt, kaum erwarten darf, eine bedeutende Eisstopfung zu zerstören. Die Erfahrungen, die man in neuerer Zeit hierüber gesammelt hat, stimmen sehr genau mit denjenigen überein, welche J. G. Repsold in Hamburg schon im vergangenen Jahrhundert als Bau-Conducteur machte *). Er fand nämlich, dafs selbst grofse Quantitäten Pulver, unter Wasser entzündet, nur in kleinen Kreisen über sich das Eis zerbrachen, und dafs andre Vorrichtungen, wie Eissägen, noch viel weniger von Erfolg waren. Man hat auch mehrfach versucht, durch Erschütterungen von oben die Eisdämme zu zerstören, und man hat selbst mit Kanonen dagegen geschossen. Es fehlt nicht an Beispielen dafür, dafs während solcher Versuche, oder bald darauf Eisstopfungen sich gelöst haben, doch mufs man bezweifeln, dafs dieser Erfolg durch das Aufschlagen der Kugeln und nicht vielleicht durch andre Veranlassungen herbeigeführt wurde. Die Masse des Eiskörpers ist im Vergleich zur Kugel so unverhältnifsmäfsig grofs, dafs man von der Erschütterung wohl keinen wahrnehmbaren Erfolg erwarten kann. Wenn aber einzelne Schollen zerschlagen werden, so werden sie dadurch noch nicht beseitigt, dieses geschieht nur, wenn die Stücke fortschwimmen können.

In Betreff des Eisganges ist endlich noch zu bemerken, dafs bei grofsen Strömen, welche viele und bedeutende Nebenflüsse aufnehmen, die Gefahr sich wesentlich dadurch vermindert, dafs die Eisgänge in den verschiedenen Flüssen nicht gleichzeitig, sondern nach einander eintreten, und zwar geschieht dieses meist in einer bestimmten Reihenfolge. So legt man bei Coblenz die dort überwinternden Schiffe vor dem Eintritt des Eisganges in den Rhein, und wartet dort das Moseleis ab. Sobald dieses vorüber ist, bringt man sie in die Mosel, und etwa 24 Stunden später stellt sich regelmäfsig der Eisgang im Rheine ein. Dieses Verfahren ist seit Menschengedenken dort üblich.

Bei Gelegenheit der Untersuchung der verschiedenen Wasser-

*) Woltmann, Beiträge zur hydraulischen Architectur. Bd. IV. S. 280 ff.

stände, die nach und nach in demselben Strome und zwar an demselben Beobachtungsorte eintreten, entsteht noch die Frage, ob längere Beobachtungsreihen eine allmählige Senkung des Wasserstandes mit Sicherheit ergeben. Diese Frage ist zuweilen in der Art beantwortet worden, dafs der Wasserspiegel der norddeutschen Ströme sich auf eine höchst bedenkliche Weise senken soll. Indem man aber die beobachteten Wasserstände als Maafs der Wassermengen ansah, so wurde dadurch zugleich die Besorgnifs angeregt, dafs unsre bedeutendsten Ströme endlich beinahe ganz versiegen möchten.

Es fehlt allerdings nicht an Erfahrungen, welche zeigen, dafs der nachhaltige Wasserreichthum mancher Bäche sich durch die Ausdehnung der Bodenkultur so vermindert hat, dafs sie jetzt während der Sommermonate merklich schwächer sind, als sie früher waren. Namentlich hat sich dieses an den Bächen gezeigt, welche den Canal du Midi im südlichen Frankreich speisen. Zur Erklärung dieser Erscheinung braucht man nicht von der Voraussetzung auszugehn, dafs die atmosphärischen Niederschläge sich vermindert haben, vielmehr genügt hierzu die Thatsache, dafs der kultivirte Ackerboden, für dessen Entwässerung gesorgt ist, nicht mehr in demselben Maafse dauernd die Quellen speisen kann, wie dieses früher geschah, als er noch mit Rasen und Gebüsch bedeckt war, und vielleicht einen Sumpf bildete. Hiernach wäre es allerdings denkbar, dafs unsre Ströme und Flüsse, wenn sie auch im Laufe des ganzen Jahres noch dieselbe Wassermasse wie früher abführen, diese sich doch vielleicht jetzt anders vertheilt, indem sie in der nassen Jahreszeit gröfser, in der trocknen dagegen geringer geworden ist. Es fragt sich ob die Wasserstands-Beobachtungen eine solche Besorgnifs bestätigen, die allerdings sowol in Bezug auf die Schiffahrt, als auch wegen mancher industriellen und ökonomischen Rücksichten sehr nachtheilig sein würde.

Wenn an unsern Strömen die Wasserstände auch schon früher regelmäfsig beobachtet und aufgezeichnet wurden, so ist doch erst seit etwa 40 Jahren auf die Erhaltung der unveränderten Höhenlage der Maafsstäbe oder Pegel die nöthige Aufmerksamkeit verwendet worden, und es würde sich daher kaum rechtfertigen, wenn man voraussetzen wollte, dafs ein Maafs, welches an einen Pfahl genagelt ist, wobei doch jedenfalls von Zeit zu Zeit Erneuerungen ein-

treten müssen, schon etwa seit dem Anfange dieses Jahrhunderts keine Verstellung erfahren hätte. Der Düsseldorfer Pegel ist in der solide ausgeführten Kaimauer selbst angebracht, indem die Theilstriche darin eingeschnitten sind, auch sind an demselben die Wasserstände seit dem Anfange des Jahres 1800 beobachtet. Diese Messungen, an jedem einzelnen Tage angestellt, umfassen also einen Zeitraum von 71 Jahren. Indem ich für jeden einzelnen Jahrgang die arithmetischen Mittel der Ablesungen oder die mittlern Wasserstände berechnete, so liefs sich aus diesen beurtheilen, ob während dieses Zeitraums, wo doch die Bodencultur sich wesentlich verbessert hat, auch die ausgedehntesten Strom-Correctionen vorgenommen wurden, eine merkliche Aenderung eingetreten ist. In gleicher Weise verglich ich auch die höchsten, wie die niedrigsten Wasserstände, die in jedem Jahre notirt sind, mit einander. Fig. 63 auf Taf. VII. stellt diese drei Wasserstände in jedem Jahre graphisch dar, und es ergiebt sich schon aus der Zeichnung, dafs bedeutende Aenderungen nicht vorgekommen sind. Die vorliegende Frage ist indessen so wichtig, dafs es nöthig schien, sie durch scharfe Berechnung der Beobachtungen mit möglichster Sicherheit zu beantworten.

Unter der Voraussetzung, dafs, abgesehn von den sehr grofsen Anomalien, welche die Folge der jedesmaligen Witterungsverhältnisse sind, der Wasserstand h in jedem Jahre um die Höhe s sich verändert hätte, während er im Jahre 1800 in normalem Zustande gleich r gewesen, so würde nach n Jahren (von 1800 ab gerechnet) der Wasserstand sein

$$h = r + ns$$

Indem für h und n die betreffenden 71 Werthe eingeführt wurden, fand ich nach der Methode der kleinsten Quadrate:

für die mittlern Wasserstände

$$h = 8{,}908 - 0{,}011 \,.\, n$$

für die höchsten

$$h = 21{,}038 - 0{,}020 \,.\, n$$

und für die niedrigsten

$$h = 3{,}187 + 0{,}0014 \,.\, n$$

Diese wahrscheinlichsten normalen Werthe sind in der Figur durch punktirte Linien angedeutet.

Die Rechnung ergiebt also, dafs der mittlere Wasserstand sich jährlich um 1,6 Linien senkt, beim höchsten Wasserstande beträgt

die Senkung dagegen 2,9 Linien, während der niedrigste Wasserstand jährlich um 0,2 Linien höher zu werden scheint. Die wahrscheinlichen Fehler dieser Angaben sind aber sehr bedeutend, sie betragen

für die erste 0,006 Fuſs oder 0,9 Linien,
für die zweite 0,015 Fuſs oder 2,2 Linien,
für die dritte 0,005 Fuſs oder 0,7 Linien.

Der wahrscheinliche Fehler für die Hebung des niedrigen Wassers ist viel gröſser, als die Hebung selbst, also diese durchaus unsicher. Die beiden andern Werthe sind freilich etwas gröſser, als deren wahrscheinliche Fehler, aber vergleichungsweise noch so klein, daſs die Senkung dieser Wasserstände auch nicht als feststehend angesehn werden kann. Das Resultat würde sich freilich in gleichem Sinne etwas sicherer herausstellen, wenn nicht, wie die Figur zeigt, gleich im ersten Jahre sowol der höchste, wie der mittlere Wasserstand so beispiellos niedrig gewesen wäre. Hiernach darf man wohl annehmen, daſs im Laufe der Zeit eine Senkung derselben wirklich eingetreten ist. Eine solche Aenderung ist auch an sich nicht unwahrscheinlich, insofern die in neuerer Zeit ausgeführten wichtigen Strom-Correctionen nicht nur Eisversetzungen verhindern, sondern auch den Abfluſs groſser Wassermassen befördern müssen. Indem aber die höchsten Wasserstände auf die Werthe der mittlern grossen Einfluſs haben, so erklärt sich zum Theil hierdurch auch die geringe jährliche Erniedrigung des mittlern Wasserstandes.

Bedeutend gröſser hat sich nach der Mittheilung von Merian *) die Abnahme des mittlern Wasserstandes in Basel während der 30 Jahre von 1809 bis 1838 herausgestellt. Das Mittel aus den ersten 10 Jahren übertrifft nämlich dasjenige des zweiten Decenniums um 0,40 und das des zweiten wieder das des dritten um 0,27 Badensche Fuſs. Diese Resultate lassen sich nicht mehr als zufällige Anomalien ansehn, aber sie beweisen noch keineswegs eine Verminderung der Wassermasse, vielmehr stehn sie wohl mit den Stromcorrectionen in Beziehung, welche im Baierschen, Badenschen und Französischen Gebiete in dieser Periode vielfach ausgeführt sind, und welche eine Senkung des Wasserspiegels in der oberhalb belegnen Stromstrecke bewirkt haben.

*) Poggendorff's Annalen Band 57, Seite 314.

Auch für die Weser ist eine starke Abnahme des Wasserstandes und der Wassermenge behauptet worden. Die erste ergiebt sich allerdings aus den bei Minden angestellten Beobachtungen, wenn freilich wieder nur in einer so geringen Gröfse, dafs sie mit Rücksicht auf die vorkommenden Abweichungen der einzelnen Jahresmittel als zufällig angesehn werden mufs. Der mittlere Wasserstand ist nämlich

nach den 12 Jahren von 1819 bis 1830 gleich 3′ 4″,6
und nach den 13 Jahren von 1831 bis 1843 gleich 3′ 2″,5.

Vergleicht man indessen mit den bei Minden angestellten Beobachtungen diejenigen, die bei Schlüsselburg gemacht sind, so zeigt es sich, dafs die Jahresmittel für Schlüsselburg bis zum Jahre 1829 von denen für Minden wenig abweichen. Sie sind zwar im Allgemeinen etwa um 2 Zoll höher, jedoch in einzelnen Jahren auch 1 Zoll tiefer. Von 1830 nehmen sie aber sehr merklich, und zwar regelmäfsig zu, so dafs sie 1840 und 1841 sogar um 13 Zoll sich höher, als die Mindener stellen. Aus diesem Grunde geben die Schlüsselburger Beobachtungen ein wesentlich verschiedenes Resultat, und unter den letztern fällt das Jahr 1830 aus, weil während desselben der Pegel beim Eisgange zerstört und erst im Monat Mai wieder hergestellt wurde. Der mittlere Wasserstand beträgt

für die 11 Jahre 1819 bis 1829 . . . . 3′ 5″,0
und für die 13 Jahre 1831 bis 1843 . . . . 4′ 0″,8.

Wollte man also ohne Rücksicht auf die Veränderung des Strombettes aus den Wasserständen unmittelbar auf die Wassermengen schliefsen, so würden die Pegelbeobachtungen bei Schlüsselburg zeigen, dafs die Weser eine starke Vermehrung ihrer Wassermenge Zeit erfahren hat.

Es ergiebt sich sonach, dafs die Weser ebenso wie der Rhein, im Allgemeinen eine Abnahme des Wasserstandes, soweit die bisher angestellten Beobachtungen ein Urtheil gestatten, mit Sicherheit nicht erkennen lassen. Für andre Ströme habe ich diese sehr zeitraubenden Untersuchungen nicht angestellt, es ist aber kein Grund vorhanden, bei denselben ein entgegengesetztes Resultat zu erwarten.

Vorstehend ist vielfach von dem mittlern Wasserstande die Rede gewesen, es bedarf kaum einer nähern Erklärung desselben, da die Benennung schon andeutet, dafs man darunter das arithmetische Mittel aus allen während des ganzen Jahres an jedem Tage

angestellten Beobachtungen versteht. Für die verschiedenen an einem Strome vorkommenden Bauten, die zum Theil nur bei kleinem Wasser ausgeführt werden können, ist die Ermittelung eines andern Wasserstandes, nämlich des gewöhnlichen noch von grofser Wichtigkeit. Man versteht darunter denjenigen, der eben so oft überschritten wie nicht erreicht wird, und man findet ihn, wenn man alle Beobachtungen des ganzen Jahres nach ihren Höhen gruppirt, und die Anzahl der in jede Gruppe fallenden abzählt, woraus sich leicht die bezeichnete Höhe ergiebt. Dieser gewöhnliche Wasserstand stellt sich immer niedriger, als der mittlere heraus.

Aufserdem spricht man nicht selten von niedrigen Sommerwasserständen, doch ist der Begriff dieser Benennung sehr schwankend, und es empfiehlt sich daher, statt derselben, die mittlern Wasserstände der einzelnen Monate zu berechnen, wie solche Fig. 69 aufgetragen sind. Wenn die Zusammenstellung derselben mehrere Jahre umfafst, so wird man daraus mit Sicherheit entnehmen können, in welcher Jahreszeit mit der gröfsten Wahrscheinlichkeit auf niedriges Wasser zu rechnen ist.

Dritter Abschnitt.

Hydrometrische Arbeiten.

§. 11.

Aufnahme der Stromcharten.

Wenn man an einem Strome ausgedehnte Wasserbauten ausführen, also etwa ein regelmäfsiges Strombett mit hinreichender Tiefe darstellen oder Uferabbrüche verhindern will, so müssen verschiedenartige Messungen und sonstige Untersuchungen der Aufstellung der Projecte vorangehn. Unter diesen Vorarbeiten ist die Aufnahme einer Stromcharte besonders wichtig, indem nur nach einer solchen die Ursachen der Verwilderung und die Mittel zur Beseitigung derselben sich sicher beurtheilen lassen.

Ueber die Vermessung des Stroms oder seiner Ufer ist wenig zu sagen. Soll die Stromcharte meilenlange Strecken umfassen, oder wird vielleicht die Aufnahme des Stroms in einer ganzen Provinz beabsichtigt, so ist es nöthig, mit einer trigonometrischen Operation den Anfang zu machen, weil man sonst fürchten mufs, dafs die Fehler bei Anwendung gewöhnlicher Feldmesser-Instrumente sich in der weiten Ausdehnung des Flufsthales so sehr anhäufen, dafs die Charte ein unrichtiges Bild von dem allgemeinen Laufe giebt. Besonders ist diese Vorsicht geboten, wenn das Thal des Stroms sehr enge ist und dadurch das wiederholte Einschneiden entfernter Punkte unmöglich wird, wodurch man sonst die Messung controliren und grofse Fehler vermeiden kann. Demnächst sind die trigonometrischen Messungen bei der Aufnahme gröfserer Ströme auch nicht zu entbehren, um die Breiten richtig anzugeben, deren genaue Kenntnifs dringend nöthig ist.

Wichtiger als diese Andeutungen über die Messung selbst dürfte eine Aufzählung der Gegenstände sein, welche die Stromcharte enthalten mufs. Hieran werden sich zugleich einige Bemerkungen

über die Einrichtung und spätere Vervollständigung der Charte anschliefsen. Es wird sich daraus aber ergeben, dafs Aufnahmen, welche nur zu ökonomischen Zwecken gemacht sind, wenn sie in dieser Beziehung auch mit gehöriger Sorgfalt ausgeführt wurden, dennoch als Stromcharten nicht benutzt werden können, wie sich dieses wohl in allen Fällen gezeigt hat, wenn man versuchte, aus gewöhnlichen Flurcharten eine Stromcharte zusammenzustellen.

Der Maafsstab für die Stromcharte mufs so grofs gewählt werden, dafs die einzelnen Bauwerke sich nicht nur deutlich darstellen, sondern dafs man auch deren Längen mit hinreichender Schärfe entnehmen kann. Hiernach eignet sich der Maafsstab von 1 : 5000 der natürlichen Gröfse besser, als der von 1 : 10000. Nichts desto weniger ist bei grofsen Strömen doch der letztere vorzuziehn, weil er eine leichtere Uebersicht gewährt und zugleich eine zu grofse Ausdehnung der Charte verhindert. Um nämlich die Verhältnisse gehörig beurtheilen zu können, darf man die Untersuchung keineswegs auf diejenige Stelle des Stroms beschränken, wo gerade die Correction erforderlich ist, sondern man mufs so weit aufwärts gehn, dafs man die Ursache des Uebels, die gewöhnlich oberhalb zu suchen ist, erkennen kann, und andrerseits mufs in dem Projecte auch darauf Rücksicht genommen werden, dafs ein gehöriger Anschlufs an den unteren Lauf des Stroms stattfindet. Es ergiebt sich hieraus, dafs die Charte, wenn sie auch nur behufs der Correction einer einzelnen Stelle aufgenommen ist, sich doch soweit oberhalb und unterhalb ausdehnen mufs, dafs die Umstände, welche die Richtung des Stroms bedingen, und nicht minder die Lage der Stromrinne in den nächsten Strecken sich daraus ergeben. Man kann dieses Alles freilich eben so gut und noch besser darstellen, wenn man einen gröfsern Maafsstab wählt, allein die Benutzung sehr grofser Charten ist mit manchen Unbequemlichkeiten verbunden, besonders wenn man mehrere Blätter an einander legen mufs. Hierbei kommt vorzugsweise noch der Gebrauch während der Untersuchung an Ort und Stelle in Betracht. Schon bei mäfsigem Winde hält es schwer, ein grofses Blatt auszubreiten, und die Schwierigkeit vermehrt sich, wenn man sich, wie dieses in solchem Falle gewöhnlich geschieht, in einem kleinen Kahne befindet, worin der Raum sehr beschränkt ist. Tritt in dieser Zeit aber noch Regenwetter ein, so wird eine

grofse Charte sogleich beschädigt, während eine kleinere leichter geschützt und in Sicherheit gebracht werden kann.

In welcher Richtung man den Strom zeichnet, wäre an sich ziemlich gleichgültig, doch empfiehlt es sich unbedingt, auch in dieser Beziehung eine gewisse Gleichmäfsigkeit zu beobachten. Von der Orientirung nach dem Compas, also etwa so, dafs die Nordlinie jedes Blatt von unten nach oben schneidet, mufs abgesehn werden, da es immer Bedingung ist, eine möglichst lange Stromstrecke auf dasselbe Blatt zu bringen. Hieraus folgt, dafs der Stromlauf ungefähr parallel zum untern und obern Rande der Charte liegen mufs, und es empfiehlt sich dabei dieselbe Richtung zu wählen, in der wir schreiben und lesen, so dafs also an der linken Seite das obere und an der rechten das untere Ende der Stromstrecke sich befindet. In dieser Art werden in der That die meisten Stromcharten aufgetragen, und man wich davon nur in seltenen Fällen deshalb ab, weil das frühere Preufsische Feldmesser-Reglement eine Bestimmung in Betreff des Längenprofils enthielt, die das Gegentheil besagte.

Der wichtigste Gegenstand, den die Stromcharte enthält, ist der Strom selbst. Seine Krümmungen, seine Breite und andre wesentliche Umstände ergeben sich schon aus den Uferlinien, diese müssen also in scharfe Contouren ausgezogen werden, nachdem sie sorgfältig gemessen sind. Hierbei entsteht aber die Schwierigkeit, dafs der Strom bei höherem Wasserstande sich weiter verbreitet und sonach seine Begrenzung vorrückt, das auf der Charte dargestellte Bild bezieht sich also nur auf einen bestimmten Wasserstand, und es fragt sich, welchen man hierzu wählen soll. Wenn die beabsichtigte Stromcorrection im Interesse der Schiffahrt ausgeführt werden soll, so kann es keinem Zeifel unterliegen, dafs man denjenigen Wasserstand wählen mufs, wobei die Hindernisse sich zeigen, die man beseitigen will, und dieses ist jedesmal ein sehr niedriger oder der allerniedrigste Wasserstand. Dazu kommt, dafs viele Gegenstände, welche man auf der Charte markiren mufs, um so leichter gemessen und untersucht werden können, jemehr sie aus dem Wasser treten, oder je tiefer das Wasser gesunken ist. Hiernach wird allgemein die Aufnahme der Stromcharte bei niedrigem Wasserstande ausgeführt, und man wählt eine Höhe desselben, die

lange genug anzuhalten pflegt, um alle davon abhängigen Messungen vorzunehmen. Der gewählte Wasserstand muſs auf der Charte selbst bestimmt bezeichnet werden, und dieses geschieht, indem man darauf bemerkt, welche Höhe der nächste Pegel zur Zeit der Messung angab.

Hierbei tritt der Uebelstand ein, daſs der Strom nur in seltenen Fällen längere Zeit hindurch seine Höhe unverändert beibehält. Man würde daher mit der Messung gar nicht zu Stande kommen, wenn man ganz strenge nur bei dem vorher bestimmten Wasserstande arbeiten wollte, es dürfen indessen geringe Differenzen von einzelnen Zollen unbeachtet bleiben. Auſserdem aber kann man den Einfluſs, den gröſsere Unterschiede auf die Veränderung der Ufergrenzen haben, mit hinreichender Sicherheit leicht messen und in den meisten Fällen sogar unmittelbar schätzen. Auf solche Weise wird zwar die Aufnahme wegen der erforderlichen Tiefenmessungen und Nivellements etwas erschwert, es ist aber ein groſser Vortheil, daſs man auch bei abweichenden Wasserständen noch die gesuchten Uferlinien bestimmen kann. Beträgt dagegen die Differenz gegen den angenommenen Wasserstand mehrere Fuſs, so läſst sich die Messung nicht füglich weiter fortsetzen, und man muſs, wofern nicht die Ufer sehr steil sind, das Fallen des Wassers abwarten.

Damit man während der Arbeit sich leicht überzeugen kann, ob der zum Grunde gelegte Wasserstand wirklich stattfindet, oder wie viel die Abweichung von demselben beträgt, so sind an den nächsten Ufern leichte Pegel aufzustellen und mit den Hauptpegeln sorgfältig zu vergleichen. Bei geringen Aenderungen des Wasserstandes pflegen die Differenzen für nicht zu groſse Entfernungen ziemlich gleichmäſsig auszufallen, woher solche Interimspegel mit Sicherheit benutzt werden können. Wenn dagegen der Strom um mehrere Fuſs steigt oder fällt, so stellen sich gemeinhin schon verschiedenartige Gefälle heraus, und es läſst sich alsdann nicht mehr mit Sicherheit angeben, um wie viel das Wasser an jeder Stelle höher oder niedriger stehen würde, wenn es am Hauptpegel die bestimmte Höhe hätte. Hat man für die Aufnahme des Stromes den gewöhnlichen Wasserstand gewählt, so pflegt das Wasser auch in den noch niedrigeren Wasserständen nicht so tief zu sinken, daſs die Reduction eine Unsicherheit besorgen lieſse. Man hat also nur

das Steigen des Wassers zu fürchten, welches innerhalb gewisser Grenzen nicht sehr störend ist.

Das eben Gesagte bezieht sich auch auf die Aufnahme der Inseln und derjenigen Sand- und Kiesflächen, welche zur Zeit des angenommenen Wasserstandes über denselben vortreten, ihre Umgrenzungen müssen gleichfalls aufgemessen und in die Charte eingetragen werden.

Es giebt indessen viele Untiefen in den Strömen, welche selbst beim niedrigsten Wasserstande von diesem verdeckt bleiben, während sie doch der Schiffahrt hinderlich sind und daher bei der Entwerfung des Correctionsprojectes berücksichtigt und in der Charte angegeben werden müssen. Die Lage und Ausdehnung derselben läfst sich nur durch Tiefenmessungen bestimmen, wovon später die Rede sein wird, am vollständigsten und deutlichsten stellen sie sich in der Charte dar, wenn man sie durch sogenannte Tiefenlinien oder solche Linien bezeichnet, die in bestimmten Tiefen von etwa 2, 4, 6 Fufs u. s. w. unter dem angenommenen Wasserstande liegen. Diese Methode ist indessen, wenn sie mit gehöriger Sorgfalt durchgeführt wird, sehr mühsam, denn man mufs entweder auf der ganzen Strecke in geringen Abständen die Querprofile aufnehmen, oder die angegebenen Tiefen wirklich aufsuchen und durch Signale bezeichnen, deren Lage alsdann vom Ufer aus durch Einschneiden zu bestimmen ist. Man wendet daher dieses Verfahren nur an, wenn eine sehr genaue Kenntnifs des Strombettes nothwendig ist, während man sich sonst damit begnügt, die Ausdehnung und Lage der Sandbänke, wie auch die der tiefsten Stromrinne, durch Querprofile, die in angemessenen Entfernungen durch den Strom gelegt sind zu bestimmen. Die Höhenlage der Sandbänke, d. h. die Tiefe ihres höchsten Rückens unter dem angenommenen Wasserstande, mufs jedenfalls ermittelt und in die Charte mit Zahlen eingeschrieben werden. Aufserdem darf die Tiefe des Fahrwassers oder der tiefsten Stromrinne in der Charte nicht fehlen, und es mufs auch die Richtung des Stromstriches, worunter man eben diese tiefste Rinne, verbunden mit der stärksten Strömung, versteht, bei dem gewählten Wasserstande angegeben werden.

Es ist unbequem, verschiedene Profilzeichnungen, namentlich wenn sie in gröfserem Maafsstabe auf besondern Blättern dargestellt

sind, mit der Situationscharte zu vergleichen und sich dadurch ein deutliches Bild von den Höhenverhältnissen zu machen. Dagegen empfiehlt es sich, die Resultate der Profilmessungen gleich in der Charte durch Einschreiben der gefundenen Tiefen anzugeben. Auch die Eintragung der Querprofile in das Strombette selbst gestattet eine deutliche Uebersicht der Verhältnisse. Man denkt nämlich die Verticalebene, worin die Tiefen gemessen sind, und die vom Strombette begrenzt wird, um diejenige horizontale Linie gedreht, worin sie den Wasserspiegel schneidet. Diese Ebene wird in horizontaler Lage an der betreffenden Stelle in das Strombette gezeichnet, dabei ist es jedoch gemeinhin nothwendig, für die Tiefen einen gröfsern Maafsstab, als für die Längen zu wählen, weil jene sich sonst nicht deutlich genug darstellen. Dieser Umstand ist störend, und aufserdem verdecken die Profile schon einen grofsen Theil von der Zeichnung des Flufsbettes, so dafs dadurch leicht andre wichtige Gegenstände verdunkelt werden. Sind die Profile aber so nahe an einander gelegt, dafs sie die Gestaltung des ganzen Strombettes ziemlich vollständig angeben, so kann man aus ihnen sehr leicht jene Tiefenlinien construiren, wodurch die Profilzeichnungen entbehrlich, und die Verhältnisse am deutlichsten dargestellt werden. Dafs man an einzelnen Stellen, wo die Gestaltung des Bettes von besonderer Wichtigkeit ist, die Profile vollständig mifst und besonders darstellt, soll hierdurch keineswegs als unzweckmäfsig bezeichnet werden, namentlich sind dergleichen Aufnahmen jedesmal nothwendig, wenn Bauwerke in den Strom hineingeführt werden sollen, und man zur Ermittelung des Material-Bedarfs die vorhandenen Tiefen genau kennen mufs.

Was von der Aufnahme des Strombettes gesagt ist, findet auch auf die der Ufer Anwendung, die bei Anschwellungen überfluthet werden. Geschieht dieses, so bedingt ihre Höhenlage und Gestaltung die Strömung des Hochwassers, und diese bedingt wieder, wie schon oben bemerkt ist, die Tiefe im eigentlichen Strombett. Die Charte mufs also anzeigen, welche Uferstrecken bei Anschwellungen inundirt werden und an welchen Stellen zur Zeit des Hochwassers eine starke Strömung sich bildet, sie mufs daher auch die tiefern Stellen im Flufsthale in ihrer ganzen Ausdehnung zeigen und die Höhenlage so vollständig angeben, dafs man die alsdann eintretenden Stromverhältnisse schon aus der Charte zu übersehn im

Stande ist Die tiefern Flächen markiren sich oft dadurch, dafs sie Wiesen sind, während das höhere Terrain als Ackerland benutzt wird. Hierdurch allein ist indessen noch keineswegs die Höhenlage gegeben, sie mufs vielmehr durch Nivellements ermittelt und durch beigeschriebene Zahlen bezeichnet werden. Am natürlichsten ist es, hierbei wieder den oben angenommenen Wasserstand zum Grunde zu legen. Der Umstand, dafs dieser Wasserstand keine horizontale, sondern eine geneigte Ebene ist, bleibt ohne merklichen Nachtheil, wenn man die Vergleichung jedesmal mit der nächsten Stelle des Stromes macht. Einige Unsicherheit ist hierbei allerdings nicht zu vermeiden, aber wollte man einen Normalhorizont zum Grunde legen, dann würde man bei der Benutzung der Charte gezwungen sein, das Gefälle des Stromes jedesmal zu berücksichtigen, wodurch leicht ein noch gröfserer Fehler eingeführt werden könnte. Am Passendsten wäre es freilich, wenn man für die verschiedenen Wasserstände den jedesmaligen Uferrand beobachtete und eintragen könnte, aber diese Arbeit wäre zu ausgedehnt. Nur die Grenzen des höchsten, bekannten Wasserstandes pflegt man, so genau wie es sich ermitteln läfst, in den Stromcharten anzugeben. Da die Gelegenheit zu solchen Beobachtungen sich jedoch nicht leicht darbietet, so mufs man die Aussagen der Anwohner zum Grunde legen, obgleich dieselben gewöhnlich einander sehr stark widersprechen und überdiefs höchst unvollständig ausfallen. Damit man indessen die Sicherheit dieser Angaben auch später einigermafsen zu beurtheilen im Stande sei, und um zugleich eine möglichst vollständige und sorgfältige Ermittelung dieser Thatsachen zu veranlassen, ist es angemessen, dafs über diese Aussagen Verhandlungen aufgenommen werden. Dabei sind zugleich die sonstigen natürlichen und künstlichen Marken der höchsten Fluthen, und unter den ersteren besonders die Beschädigungen der Baumstämme durch vorbeitreibende Eisschollen zu berücksichtigen.

Die Grenze der höchsten Inundation, und zwar ebensowohl wenn diese unmittelbar vom Strome herrührt, als wenn sie durch Rückstau hervorgebracht ist, mufs in der Stromcharte angegeben werden. Hierdurch bestimmt sich im Allgemeinen die Ausdehnung der Stromcharte. Die Höhenlage der ganzen inundirten Fläche wird aber durch beigeschriebene Zahlen bezeichnet. Da diese Zahlen gegen die eingeschriebenen Tiefen negativ sind, so

könnte man die ersten oder die letzten mit dem Minuszeichen versehn, es ist indessen angemessen, in gleicher Art, wie die Grenze des Wassers mit blauer Farbe bezeichnet wird, auch die Tiefen blau und dagegen die Höhen roth einzuschreiben. Die Höhe der Inseln und derjenigen Bänke, die über den angenommenen Wasserstand vorragen, mufs gleichfalls in entsprechender Weise angegeben werden.

Es folgt schon aus dem Gesagten, dafs Sümpfe, besonders alte Flufsarme und ebenso auch Bäche und Nebenflüsse, soweit sie im Inundationsgebiete liegen, gleichfalls aufgenommen werden müssen, die letztern werden indessen häufig noch weiter aufwärts und namentlich bis oberhalb der nächsten daran gelegenen Mühlen verfolgt. Diese weitere Ausdehnung rechtfertigt sich dadurch, dafs die Versandungen im Strome oft in dem innigsten Zusammenhange mit den Uferbrüchen in den Nebenflüssen stehn, und daher eine vollständige Correction des Stroms nicht erfolgen kann, wenn hier nicht gleichfalls für die Deckung der Ufer gesorgt wird. Die Deiche, kleinere Vorwallungen oder auch Mauern und Gebäude, welche vielleicht die Ausbreitung der Fluthen begrenzen oder die Strömung hemmen, sind gleichfalls auf der Charte anzugeben, und ebenso auch die Hecken, Zäune und Baumgruppen und selbst einzelne Bäume, welche der freien Bewegung der Eisschollen besonders hinderlich sind.

Mit besonderer Sorgfallt müssen ferner alle Anlagen, welche unmittelbar auf den Strom einwirken oder damit in Verbindung stehn, eingezeichnet werden. Hierher gehören die Wehre, Coupirungen, Seiten-Canäle, Uferdeckungen und zugleich die Uferpflanzungen und natürliche Weidenaufschläge, so auch die Buhnen und Schlickzäune und dergleichen. Durch die Färbung oder sonstige Bezeichnungsart derselben ist ihre Constructions-Art zu markiren, und durch die oben erwähnte Beifügung der Zahlen ihre Höhe zu bezeichnen, soweit es sich aber mit Sicherheit ermitteln läfst, mufs auch die Jahreszahl ihrer Erbauung beigeschrieben werden. Hierher gehören ferner die Pegel, Schleusen, Schiffsmühlen, Leinpfade und die Anstalten zur künstlichen Entwässerung der anschliefsenden Niederungen.

Demnächst mufs man aus der Stromcharte auch die Beschaffenheit des Bodens, soweit dieselbe beim Strombau in Betracht kommt, entnehmen können. Besonders ist es nothwendig, zu wissen,

aus welchem Material die der Schiffahrt hinderlichen Untiefen bestehn, ob sie gewachsener Fels, grofse Steine, Kies oder Sand, oder vielleicht auch feste oder lose Thonbänke oder Baumstämme sind. Ebenso mufs die Beschaffenheit der Ufer neben dem Strome sich aus der Charte ergeben, und zwar nicht nur in Bezug auf ihre Zusammensetzung, sondern auch auf ihren Zustand. Durch besondere Bezeichnung ist daher das im Abbruch befindliche Ufer, oder das sogenannte Schartufer, und andrerseits das flache in der Verlandung begriffene Ufer darzustellen. Die Wirkung des Hochwassers ist aber sehr verschieden, je nachdem es über einen festen Rasen oder über den aufgelockerten Ackerboden strömt, daher darf auch die Bezeichnung der Kulturart nicht fehlen, und da die Anlage der Leinpfade und manche andere Umstände bei der Stromregulirung vielfache Collisionen mit den nächsten Grundbesitzern herbeiführen, so dürfen auch die Grenzen zwischen den einzelnen Grundstücken, die Städte, Dörfer und einzelnen Etablissements, die Haupt- und Nebenwege darin nicht fehlen, ebensowenig die Fuhrten, Fähren, Brücken, Stege, Mühlen, die Landungsplätze für die Schiffe nebst den zugehörigen Niederlagen, die Zollstätten, Schiffsbauplätze u. dergl.

Bei den vielfachen Veränderungen, denen der Stromlauf unterworfen ist, verliert die Charte bald ihre Brauchbarkeit, wenn nicht durch die Stromregulirung bereits den fernern Veränderungen ein Ziel gesetzt ist. Dieses giebt sich vielfach bei älteren Charten zu erkennen, die nur ein historisches Interesse behalten, ein solches kann aber die sehr bedeutenden Kosten der Vermessung und Zeichnung nicht rechtfertigen, und man sollte daher nicht früher eine vollständige Stromcharte zusammenstellen lassen, bis es Absicht ist, die betreffende Strecke vollständig zu corrigiren und sie weiteren Veränderungen zu entziehn. Durch die Regulirung, welche zur Aufnahme der Charte die nächste Veranlassung giebt, wird indessen der Stromlauf schon wesentlich verändert, diese Aenderungen lassen sich aber wenn man verschiedene Farben wählt, ohne Undeutlichkeiten herbeizuführen, gemeinhin in das erste Blatt eintragen, und es erleichtert aufserordentlich die Uebersicht, wenn man die nach und nach eingetretenen Veränderungen mit einem Blicke übersehn kann. Nichts desto weniger vermehren sich dieselben doch endlich so sehr, dafs die Deutlichkeit leiden würde, wenn man Alles noch

zusammen darstellen wollte. Alsdann ist es am passendsten, auf besondere Blättchen oder Klappen die Aenderungen zu zeichnen. welche den späteren Zustand des Stromes darstellen.

§. 12.
Nivellement des Stroms.

Welchen Einfluſs das Gefälle auf den Lauf eines Stroms hat, ist schon erwähnt, die genaue Kenntniſs desselben ist daher bei der Entwerfung eines Projectes zu Stromregulirungen dringend nöthig. Es genügt dabei aber nicht, daſs man nur diejenige Strecke nivellirt, die man reguliren will, denn die beabsichtigte Aenderung im Strombett pflegt auch eine Aenderung des Gefälles zur Folge zu haben, und man muſs sich schon vorher davon überzeugen, daſs eine solche auch für die andern Theile des Stroms nicht nachtheilig sei. Es ist daher Regel, daſs man das Nivellement wenigstens so weit aufwärts fortsetzt, als eine Aenderung im Wasserspiegel möglicherweise noch veranlaſst werden kann. Am zweckmäſsigsten ist es aber, diese Arbeit über den ganzen Strom, oder doch wenigstens über einen groſsen Theil desselben auszudehnen, denn die Kenntniſs des Gefälles und der Vertheilung desselben bei verschiedenen Wasserständen auf die einzelnen Strecken ist zur richtigen Beurtheilung der Stromverhältnisse höchst wichtig, und oft sogar wichtiger, als diejenigen Umstände, welche sich auf der Stromcharte darstellen lassen. Wenn also, wie dieses häufig vorkommt, die Absicht nur dahin gerichtet ist, die gröſsten Verwilderungen oder Schiffahrtshindernisse zu beseitigen, so kann man ohne wesentlichen Nachtheil die Aufnahme der Stromcharte auf die auszubauenden Strecken und deren nächste Umgebungen beschränken, aber ein zusammenhängendes und gehörig weit ausgedehntes Nivellement ist nothwenig, um ein richtiges Urtheil über die dringensten Anlagen zu begründen.

Ueber die Ausführung der Nivellements ist nichts Besonderes zu erwähnen *), nur muſs auf die Nothwendigkeit des Anschlus-

*) In den Grundzügen der Wahrscheinlichkeits-Rechnung (zweite Ausgabe, Berlin 1867) habe ich als Beispiel zur Ermittelung der Beobachtungsfehler die Lehre vom Nivelliren ziemlich vollständig behandelt.

ses an alle Festpunkte, die mit dem Strome in Beziehung stehn, aufmerksam gemacht werden. Dieses sind vorzugsweise die Nullpunkte der Pegel, demnächst die Schleusendrempel, die Fachbäume oder Rücken der Wehre, die Fachbäume der Freiarchen, der Mühlen u. dergl. Aufserdem darf man auch nicht unterlassen, an sonstige feste Punkte in kurzen Entfernungen das Nivellement anzuschliefsen, denn die ganze Arbeit verliert ihren Werth, wenn man sie nicht für einzelne Strecken leicht wiederholen und dadurch die eingetretenen Veränderungen nachweisen kann. Zu diesem Zwecke ist es nothwendig, dafs man eine grofse Anzahl von Festpunkten längs dem Flusse, etwa in 100 bis 200 Ruthen Entfernung aufsucht oder künstlich bildet, und eine besondere Vorsicht ist erforderlich, dieselben so anzubringen, dafs sie nicht leicht zerstört oder verändert werden. Das Aufstellen von Pfählen oder von hohen Steinen, etwa Basaltsäulen, ist hierzu keineswegs genügend, denn solche sind nicht nur den zufälligen Beschädigungen beim Eisgange oder bei anderer Veranlassung ausgesetzt, sondern die Grundbesitzer, denen der Zweck dieser Marken nicht leicht begreiflich zu machen ist, sehn darin gemeinhin eine Beeinträchtigung ihres Eigenthumsrechtes, und bemühen sich diese Zeichen fortzuschaffen, es kommt sogar vor, dafs sie dieselben ausheben und an andre Stellen versetzen, wo sie weniger hinderlich sind. Grofsentheils lassen sich solche Unannehmlichkeiten vermeiden, wenn die Anwohner vorher befragt und ihre Wünsche in Bezug auf die Stelle gehörig berücksichtigt werden. Da hierbei der Abstand vom Strom und ebenso auch der Abstand der Marken unter sich ohne Nachtheil etwas verändert werden kann, so gelingt es wohl jedesmal ein Einverständnifs herbeizuführen. Für den möglichen Fall aber, dafs dennoch die Marke zerstört wird, mufs man neben derselben unter dem Boden noch eine zweite Marke, gewöhnlich einen Stein mit ebener und horizontaler Oberfläche anbringen, welcher gleichfalls an das Nivellement angeschlossen wird. Die Lage desselben mufs im Situationsplane auch genau bezeichnet werden, damit man ihn sicher wiederfinden kann.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Eintragung des Wasserspiegels in das Nivellementsprofil. Wollte man während der Ausführung des Hauptnivellements gleich die Visirlatte am Rande des Stroms einstellen, und dadurch die Höhe des Wasserspiegels er-

mitteln, so würde man augenscheinlich alle Aenderungen des Wasserstandes, die während dieser Zeit vorkommen, mit einführen, und dadurch die Resultate entstellen. Der Wasserstand, den man in das Nivellementsprofil einträgt, mufs im Beharrungszustande sich befinden, also während der ganzen Aufnahme derselbe bleiben, oder er mufs gleichzeitig an den sämmtlichen Marken beobachtet worden sein. Es ist hierbei gleichgültig, ob das Nivellement schon beendigt ist, oder nicht. Die oben erwähnten Festpunkte müssen indessen zur Zeit der Beobachtung des Wasserspiegels bereits gesetzt sein, damit die Uebertragung der letztern auf diese unmittelbar nach der Beobachtung vorgenommen werden kann. Sobald Aussicht vorhanden ist, dafs ein passender Wasserstand eintreten wird, stellt man vor jedem Festpunkte am Rande des Stroms einen Pfahl auf, dessen Kopf horizontal und eben abgeschnitten ist. Die Höhe dieses Kopfes über dem Wasserspiegel wird in der vorher verabredeten Zeit durch zuverlässige Leute gemessen. Wenn es auch keineswegs erforderlich ist, dafs man für jede einzelne Messung einen besondern Beobachter anstellt, so darf man andrerseits auch nicht durch einen Mann in Strecken, von mehreren Meilen Länge, alle Messungen vornehmen lassen, weil in diesem Falle die Beobachtungen zu wenig gleichzeitig ausfallen würden. Nichts desto weniger ist es räthlich, nur zuverlässige Gehülfen zu wählen, und wenn man solche nicht in gehöriger Anzahl disponibel hat, die Einzelnen so anzustellen, dafs sie, vielleicht während eines halben Tages, eine lange Reihe von Pegeln hintereinander beobachten. Es kommt hierbei noch der Umstand in Betracht, dafs etwanige Aenderungen des Wasserstandes sich von oben nach unten fortsetzen. Dieselben treten also keineswegs gleichzeitig an allen Pegeln ein, und wenn der Gehülfe in der Richtung stromabwärts seinen Weg nimmt und ausserdem für ein schnelles Fortkommen desselben gesorgt ist, so wird der Wechsel des Wasserstandes ihm nicht bedeutend voreilen, und sonach beziehn sich alle Messungen, wenn sie auch nicht zu gleicher Zeit angestellt wurden, doch auf denselben Wasserstand.

Solche Messungen müssen indessen schon längere Zeit vorher vorbereitet werden, und sind nur in dem Falle brauchbar, wenn der erwartete Beharrungswasserstand während ihrer Ausführung wirklich stattgefunden hat. An den sämmtlichen Hauptpegeln der ganzen Stromstrecke müssen daher während der Beobachtungszeit von

Stunde zu Stunde die Wasserstände abgelesen und aufgezeichnet werden, dasselbe geschieht auch an den vorhergehenden und nachfolgenden Tagen, damit man sich überzeugen kann, ob in der That ein constanter oder Beharrungswasserstand stattgefunden hat.

Indem nun diese Beharrungswasserstände nicht häufig eintreten, auch selten so lange anhalten, dafs man während ihrer Dauer die Vorbereitungen zu solchen Messungen treffen kann, so geschieht es häufig, und namentlich wenn die Beobachtung eine lange Stromstrecke umfafst, dafs die ganze erwähnte Vergleichung der Wasserstände sich als vergeblich ausweist, indem der Strom während dieser Zeit zu fallen oder zu wachsen anfing. Namentlich ist es besonders schwierig, höhere Wasserstände auf diese Weise zu beobachten, indem solche eine noch kürzere Dauer, als die niedrigen zu haben pflegen. Man hat daher gewöhnlich während der Ausführung des Nivellements keine Gelegenheit, den Wasserspiegel des Stroms, und namentlich bei sehr verschiedenen Wasserständen, genau zu bestimmen.

In Bächen und kleineren Flüssen, die zum Betriebe von Mühlen benutzt werden, pflegt der Wasserstand, besonders wenn die Zuflüsse nur schwach sind, allein von dem Gange der Mühlen abzuhängen und daher fortwährenden Schwankungen unterworfen zu sein. An solchen wäre die Anstellung gleichzeitiger Beobachtungen, die in mäfsigen Entfernungen das höhere und niedrigere Wasser angeben würden, ohne Zweck. In diesem Falle kommt es vielmehr darauf an, die Maxima und Minima an allen Beobachtungs-Stationen zu ermitteln.

Man kann die Pegel zu diesem Zweck ähnlich wie die Fluthpegel einrichten, oder auch die Vorrichtung darin anbringen, dafs sie sich selbst registriren, worüber im dritten Theile dieses Werkes §. 6. das Nähere mitgetheilt wird. Dergleichen Anordnungen sind indessen für den vorliegenden Zweck viel zu kostbar. Wenn es, wie oft geschieht, nur darauf ankommt, die höchsten Wasserstände zu kennen, so genügt dazu nachstehendes sehr einfaches Verfahren welches ich beim Nivelliren von Bächen, neben welchen Mühlen lagen vielfach angewandt habe. Ich liefs nämlich ehe das höchste Wasser eintrat, die erwähnten Pfähle oder Pegel mit einem recht fetten Thon bestreichen, der soweit er vom Wasser benetzt wurde, erweichte und abfiel. Der starke Strom wusch sogar die Pfähle bis

zu dieser Höhe ganz rein, und der höchste Wasserstand liefs sich auf diese Art bis zum Eintritt des nächsten Hochwassers so genau erkennen, dafs man nicht leicht um einen ganzen Zoll bei der Ablesung zweifelhaft bleiben konnte. Zum Beweise für die Sicherheit der Methode diente aber vorzugsweise der Umstand, dafs zwei solche Pfähle, die nahe neben einander standen, immer übereinstimmende Resultate gaben.

§. 13.

Tiefenmessungen.

So lange die Wassertiefe nicht bedeutend ist, mifst man dieselbe mit der Peilstange. Diese besteht in einem Maafsstabe, dessen Eintheilung rings umher markirt sein mufs, damit die Ablesung jederzeit schnell und sicher erfolgen kann, ohne dafs man gezwungen ist, den Stab so zu drehn, dafs eine bestimmte Seite desselben dem Auge zugekehrt ist. Eine grofse Schärfe ist bei Tiefenmessungen nie zu erreichen, daher würde es überflüssig sein, wenn man etwa die Theile eines Zolles auf der Peilstange noch ablesen wollte. Dieser Umstand macht die Eintheilung der Stange in einzelne Zolle schon entbehrlich, denn man kann diese mit hinreichender Sicherheit schätzen, wenn auch nur eine Eintheilung von 3 zu 3 Zollen angebracht ist. Am vortheilhaftesten ist es, die Stangen rund zu behobeln und mit weifser Oelfarbe anzustreichen. Wenn man etwa die ganzen Fufse durch schwarze und die Viertelfufse durch rothe Striche bezeichnet, so ist das Beischreiben der Zolle entbehrlich, man braucht auch die Fufse nicht zu numeriren, wenn man besondere Marken wählt, um dieselben zu unterscheiden.

Gemeinhin kommt es nur darauf an, auf den seichten Stellen die Tiefen genau zu kennen, und man reicht sonach gewöhnlich mit einer Peilstange aus, deren Länge etwas gröfser als die mittlere Tiefe des Stroms ist. Für einzelne Stellen, wo dieses nicht genügen sollte, mufs man eine längere Peilstange benutzen, es ist aber vortheilhaft, dafs man den zum gewöhnlichen Gebrauche bestimmten Stab möglichst bequem einrichtet, weil er alsdann um so häufiger und schneller gehandhabt werden kann. Hiernach wird

für bedeutende Ströme, wie für die Weser und die Elbe, schon eine Peilstange von 8 Fuſs Länge und 1¼ Zoll Stärke groſsentheils ausreichen. Ist diese mit den erwähnten rothen und schwarzen Strichen versehn, die sich ringförmig herumziehn, so braucht man nur den schwarzen Strich in der Mitte, der 4 Fuſs bezeichnet, zu markiren, und dieses geschieht am zweckmäſsigsten dadurch, daſs man neben demselben sowol darüber, als darunter noch einen ähnlichen Strich anbringt, so daſs hier drei Striche neben einander liegen. Alsdann wird ein Blick auf die Stange, während sie eingestellt ist, hinreichen, um die Fuſse und Zolle, welche der Wasserspiegel abschneidet, sogleich zu erkennen.

Bei der erwähnten Anordnung tritt noch der Vortheil ein, daſs nicht ein bestimmtes Ende der Stange nach unten gekehrt werden muſs. Die symmetrische Eintheilung gestattet ohne Nachtheil das Umkehren der Stange, und dieses gewährt in vielen Fällen, wenn nämlich das Wasser stark strömt, oder der Nachen schnell gerudert wird, den Nutzen, daſs der Arbeiter, welcher die Peilstange führt, sie nach dem jedesmaligen Aussetzen umdrehn, und dadurch schneller operiren kann.

Da die Stange durch das wiederholte Aufstoſsen, besonders bei kiesigem Grunde, an ihren Enden stark angegriffen wird, und diese Abnutzung eine Verkürzung zur Folge hat, welche mit der Zeit merkliche Fehler veranlassen kann, die um so nachtheiliger sind, als sie immer in demselben Sinne vorkommen, so ist es nöthig, dieser Abnutzung durch Eisenbeschläge vorzubeugen, die an beide Enden angebracht sind.

Wenn die Tiefenmessung in sehr weichem Boden vorgenommen wird, so dringt die Stange bei ihrer geringen Stärke leicht in den Grund ein, und man beobachtet alsdann nicht mehr die wirkliche Wassertiefe, sondern vielmehr den Abstand des Wasserspiegels von einer festeren Erdschicht, wobei es nicht fehlen kann, daſs der verschiedene Druck, den der Arbeiter beim Aufsetzen der Stange ausübt, auch ein verschiedenes Eindringen derselben verursacht. Um in diesem Falle die Unsicherheit einigermaſsen zu vermindern, pflegt man den Beschlag der Stange an dem untern Ende mit einer eisernen Scheibe von etwa 4 Zoll Durchmesser zu versehn. Es würde zwar bequemer sein, an jedem Ende der Stange einen breiten höl-

zernen Knopf anzubringen, solche Knöpfe lösen sich indessen leicht ab oder reifsen oder spalten in Folge der abwechselnden Benetzung und Austrocknung, woher die erste Einrichtung den Vorzug verdient.

Hat man sehr grofse Tiefen von mehr als 20 Fufs zu messen, was bei bedeutenden Strömen, wie z. B. beim Rhein nicht selten vorkommt, und auch bei kleineren Strömen stellenweise der Fall ist, besonders wenn man bei hohem Wasser sich von der Tiefe an einzelnen Punkten überzeugen will, so mufs die Peilstange die angemessene Länge und Stärke haben. Dadurch wird aber der Druck des Wassers gegen sie sehr vermehrt und ihr Gebrauch erschwert, der schon an sich und namentlich bei heftiger Strömung nicht leicht ist. Man kann alsdann die Handhabung der Peilstange dadurch bequemer machen, dafs man ihr unteres Ende auf 1 Fufs Länge oder noch weiter aus massivem Eisen bestehn läfst. Auf diese Weise mifst man am Rhein die Tiefen bis auf 40 und sogar 45 Fufs noch mit der Peilstange, bei diesen langen Stangen müssen indessen die Zahlen für die ganzen Fufse neben der Eintheilung beigeschrieben werden.

Ueber den Gebrauch der Peilstange wäre ferner zu bemerken, dafs sie nahe lothrecht stehn mufs, während man die Ablesung macht, weil man sonst eine gröfsere Wassertiefe beobachten würde, als wirklich vorhanden ist. Wollte man aber bei starker Strömung, oder während der Nachen, auf dem man sich befindet, merklich schneller oder langsamer, als das Wasser sich bewegt, die Stange lothrecht herabdrücken, so würde man dieses bei kleinen Tiefen nur mit Mühe ausführen können, und bei gröfsern wäre es unmöglich, da der Stofs des Wassers gegen die Stange zu heftig wird. Man stellt daher die Stange schräge, und zwar in der Richtung herab, von wo das Wasser gegen den Nachen sich bewegt, also nach vorn, wenn wie gewöhnlich der Nachen gegen die umgebende Wassermasse sich vorwärts bewegt, und in dieser Richtung eine gröfsere Geschwindigkeit hat. Die relative Strömung faſst alsdann die Stange, und bringt sie in die lothrechte Stellung. Der Arbeiter mufs aber die Neigung, welche er der Stange giebt, so wählen, dafs sie eben beim Berühren des Grundes den lothrechten Stand einnimmt, und in dieser Zeit mufs auch die Ablesung erfolgen. Beim Ausheben der Stange wird ihr unteres Ende noch stärker zu-

rückgedrängt, und das nächste Einsetzen läfst sich daher leichter ausführen, wenn jetzt das obere Ende, das schon nach vorne geneigt ist, eingestofsen und sonach die Stange umgekehrt wird.

Um die Verschiedenheit der Tiefen in dem Fahrwasser zu erkennen, ist es zuweilen wichtig, die Peilstange in sehr kurzen Zwischenzeiten den Boden berühren, oder ihr Ende dauernd auf demselben streichen zu lassen. Da man sie in diesem Falle in der lothrechten Stellung erhalten mufs, so ist es nothwendig, dafs der Nachen nahe dieselbe Geschwindigkeit, wie das Wasser hat. Bei starker Strömung ist jedoch die Geschwindigkeit in der Tiefe schon so viel geringer, dafs man mit den Händen allein die Stange nicht mehr halten kann. Man kann ihr alsdann aber eine gehörige Unterstützung durch eine Leine geben, die vom vordern Ende des Nachens aus, und zwar so tief als es nur geschehen kann (damit die Ruderer nicht behindert werden), an das untere Ende der Stange gebunden ist.

Wenn die Wassertiefe sehr grofs, und dagegen die Strömung nur geringe ist, oder ganz aufhört, so läfst sich die Tiefe leichter durch das Loth ermitteln. Die Genauigkeit der Messung leidet dabei freilich, aber bei grofsen Tiefen ist die scharfe Messung derselben auch am wenigsten Bedürfnifs. Das Loth besteht aus einem Bleicylinder, an dessen oberem Ende eine eiserne Oese angegossen ist, in welche eine Leine angeknüpft wird, und diese ist mit eingebundenen Lappen oder Lederstreifen versehn, an welchen man die Einsenkung des Lothes oder die Tiefe des Wassers abliest. Wenn kein Strom stattfindet und das Fahrzeug, von welchem aus die Messung vorgenommen wird, gleichfalls in Ruhe ist, so bietet der Gebrauch des Lothes keine Schwierigkeiten. Gewöhnlich ist das Fahrzeug in Bewegung, und alsdann kommt es darauf an, das Loth so auszuwerfen, dafs es in demselben Moment den Grund berührt, während es sich unter dem Fahrzeuge befindet. Wollte man es also nur herabfallen lassen, so würde es bei grofser Tiefe den Weg nicht schnell genug durchlaufen, und man würde unrichtige Resultate erhalten. Das Verfahren beim Gebrauche des Lothes ist daher wieder dem schrägen Ausstofsen der Peilstange ähnlich, man wirft es nach Maafsgabe der gröfsern oder mindern Tiefe vor dem Fahrzeuge so weit voraus, dafs es in dem richtigen Moment den Grund berührt. Grofse Uebung ist daher zum gehörigen Auswerfen des

Lothes, namentlich bei bedeutenden Tiefen nothwendig, aufserdem mufs das Loth auch ein hinreichendes Gewicht haben, damit es im Wasser schnell genug herabfällt und die Leine nachzieht. Für die in Strömen auszuführenden Tiefenmessungen, von denen hier allein die Rede ist, genügt es, das Loth aus einem Gewichte von wenig Pfunden bestehn zu lassen. Anders verhält es sich bei Messungen im offenen Meere, wobei man verschiedene Modificationen des Lothes eingeführt hat. Im dritten Theile dieses Handbuches §. 11. sind dieselben näher bezeichnet.

Bei allen Peilungen ist es von der äufsersten Wichtigkeit, die Stellen genau zu kennen, wo die Messung angestellt wurde. Ohne diese Kenntnifs wird der Zweck beinahe ganz verfehlt. Eine bestimmte gerade Linie läfst sich selbst auf einer ausgedehnten Wasserfläche noch leicht verfolgen, wenn man diese Linie auf dem einen Ufer durch zwei kenntliche Marken in gehöriger Entfernung von einander bezeichnet hat, und wenn man den Nachen so steuert, dafs diese beiden Marken einander fortwährend decken. Wenn keine sonderliche Genauigkeit für die Messung erforderlich und überdies die Geschwindigkeit des Stromes in dieser Linie nicht sehr verschieden ist, so kann man die Voraussetzung machen, dafs der Nachen den ganzen Weg von einem Ufer bis zum andern mit gleicher Geschwindigkeit zurücklegt, und dafs sonach die in gleichen Zwischenzeiten vorgenommenen Tiefenmessungen auch gleichmäfsig über die ganze Breite des Stromes vertheilt sind. Die Gültigkeit dieser Voraussetzung ist jedoch gemeinhin von vielen Zufälligkeiten abhängig, und man mufs daher, wenn sichere Resultate verlangt werden, ein andres Mittel zur Bestimmung der Entfernungen wählen.

Am gewöhnlichsten ist es, dafs man in solchem Falle eine starke Leine quer über den Strom spannt, an welche Lederstreifen gebunden sind, auf denen man die Entfernung vom Anfangspunkte markirt hat. Man zieht alsdann längs dieser Leine einen kleinen Nachen quer über den Strom und mifst jedesmal die Tiefe, sobald man eine solche Marke erreicht. Hierbei können jedoch noch bedeutende Fehler vorkommen, die in der Verlängerung der Leine ihren Grund haben. Um denselben vorzubeugen und namentlich um der Leine die hygroscopische Beschaffenheit zu nehmen, vermöge deren sie sich bei eintretender Benetzung stark verkürzt, pflegt man sie, ehe die Längen darauf bezeichnet werden, in heifses Leinöl zu

tauchen, damit sie von demselben ganz durchzogen wird, und später nicht mehr das Wasser einsaugen kann. Wenn hierauf das Oel abgeträufelt und die Leine etwas getrocknet ist, reibt man sie mit Wachs in wollnen Lappen ab, so dafs sie eine glänzende, gleichsam polirte Oberfläche erhält. Hierauf zieht man sie recht kräftig aus, ungefähr in demselben Grade, wie dieses beim Ausspannen über den Strom der Fall ist, und in diesem Zustande mifst man die Längen ab und bindet in Entfernungen von etwa 1 Ruthe die Lederstückchen ein. Es ist indessen bei der grofsen Elasticität einer Leine immer leicht möglich, dafs sie auch in diesem Falle noch eine andre Ausdehnung beim Gebrauche annimmt, da schon der Strom, wenn sie in denselben eintaucht, sie in starke Spannung versetzt. Am passendsten ist es, dafs man die Breite des Stroms nicht allein durch die Leine, sondern zugleich durch trigonometrische Messung bestimmt. Die Differenz zwischen beiden Resultaten zeigt alsdann den Fehler in dem Maafse der Leine, und wenn man in der letztern die Theilungspunkte gehörig aufgetragen und controllirt hatte, so darf man annehmen, dafs dieser Fehler sich gleichmäfsig über die ganze Länge verbreitet, man weifs daher, um wie viel Zoll jeder einzelne Theil zu grofs oder zu klein ist.

Sodann wird die Leine häufig auf eine höchst nachtheilige Weise nicht nur verlängert, sondern auch stromabwärts gezogen, indem man den Nachen, von welchem aus die Tiefenmessung vorgenommen wird, allein an der Leine hält, und den Stofs, den das Wasser gegen ihn ausübt, auf sie überträgt. Wenn hierbei die Spannung der Leine unverändert bliebe, so würde der Nachen sich nicht in einer geraden Linie, sondern in einem elliptischen, stromabwärts gekehrten Bogen quer über den Strom bewegen, und zwar würden die beiden Brennpunkte der Ellipse mit den Befestigungspunkten der Leine zusammenfallen. Man vermeidet diesen Uebelstand, wenn man den Nachen durch andre Leinen, die am Ufer oder an Ankern befestigt sind, gegen den Stofs des Stromes unterstützt, so dafs die eingetheilte Leine nur dazu dient, den Nachen in die beabsichtigte Entfernung vom Ufer zu stellen, während die durch zwei Signale ausgesteckte Querlinie durch gehöriges Anziehn der Ankerleine dabei jedesmal inne gehalten wird. Fig. 61. auf Taf. VII. zeigt diese Anordnung.

Bei Anwendung mehrerer Signale kann man auch ohne die Leine einzelne Punkte in dem Profile markiren und hierbei zugleich

die Einrichtung so treffen, dafs in bestimmten Abständen von einander die Profile gemessen werden. Der Umstand, dafs nicht alle Punkte im Profile markirt sind, und man zwischen denselben die Stellen, wo die Tiefen gemessen wurden, gleichmäfsig vertheilen mufs, kann keine bedeutenden Fehler veranlassen, insofern jene ersten Punkte nahe genug neben einander liegen. Es ist dabei aber nicht mehr nothwendig, dafs das andre Ufer nur wenig entfernt sei, man kann vielmehr diese Methode auch am Meeresufer anwenden, wie sie in der That bei den Peilungen vor Swinemünde seit langer Zeit benutzt ist. Fig. 60. auf Taf. VII. zeigt die hierbei getroffene Anordnung. Durch die beiden Signale *M* und *N* ist die Richtung des zu messenden Profiles gegeben. Die beiden Signale *R* und *S* bezeichnen aber in der Linie *PM* den Punkt *P*, und der Punkt *T* wird markirt, sobald man die letzten Signale auf die vorher abgesteckten Punkte *U* und *V* aufstellt. Während man also das eine Profil mifst, dessen Richtung durch zwei feste Signale gegeben ist, stellen zwei Arbeiter nach und nach die beiden beweglichen Signale an den durch Pfählchen vorher bezeichneten Stellen auf, und markiren dadurch einzelne Punkte in jenem Profile. Sobald das erste Profil aber gemessen ist, stellt man die beiden festen Signale in der Richtung des nächsten Profiles auf, und die beiden beweglichen Signale werden nach und nach immer nach entfernteren Stellen gebracht. In dieser Weise geht die Aufnahme schnell von statten, da sowohl auf dem Hinwege, als auf dem Rückwege jedesmal ein Profil gemessen wird. Es lassen sich auch die Tiefen an den zwischenliegenden Punkten in den einzelnen Profilen noch mit hinreichender Sicherheit finden, wenn gleichmäfsig gerudert und gepeilt wird, und man beim Aufschreiben der gefundenen Tiefen jedesmal den Durchgang durch eine Schneidungslinie markirt.

Wenn die aufzunehmende Wasserfläche von den Ufern weit entfernt ist, so müssen die Signale auch bedeutende Höhe und zugleich ausgedehnte Flächen erhalten. Ihre Aufstellung wird daher schwieriger und auch lassen sie sich nicht mehr leicht versetzen. Man mufs sich daher mit den bereits vorhandenen Festpunkten begnügen. Alsdann sind Winkelmessungen nicht zu entbehren, die am passendsten auf dem Boote selbst mit dem Spiegel-Sextant ausgeführt werden. Bei Tiefenmessungen im Strome ist nicht leicht hierzu Veranlassung geboten, dagegen ist man bei Aufnahme der Fahrwas-

ser vor Seehäfen häufig dazu gezwungen. Die in solchem Falle zu wählenden Verfahrungs-Arten sind im dritten Theile dieses Handbuches §. 11. behandelt.

Die bisher erwähnten Methoden zur Messung der Tiefe setzen eine hinreichende Ausdehnung der Unebenheiten des Bodens voraus, um dieselben mittelst der Peilstange sicher wahrnehmen zu können. Dieses ist auch immer der Fall, wenn das Bett aus losem Geschiebe oder feinerem Material besteht, sobald aber gewachsener Felsboden unter dem Wasser ansteht, so läuft derselbe häufig in so scharfe Spitzen oder Kanten aus, dafs man solche bei dem Aufstofsen der Peilstange nicht trifft, und man sonach die Wassertiefe für gröfser hält, als sie wirklich ist. Wenn man aber auch, wie oben erwähnt worden, die Peilstange längs dem Boden streichen läfst, so geben sich dadurch nur die Unebenheiten in einer einzigen Linie zu erkennen, und bleiben unbemerkt, sobald sie seitwärts liegen. Gewöhnlich bilden sich an den Stellen, wo Felsbänke den Strom durchsetzen, heftige Strömungen, welche den Nachen, wenn er vor Anker gelegt wird, nicht eine ruhige Stellung einnehmen lassen, sondern ein starkes Schwanken desselben verursachen, und an seiner Seite aufserdem ein merkliches Anschwellen des Wassers hervorbringen, wodurch wieder der Gebrauch der Peilstange, wenn man auch wirklich die Vorragungen des Bettes träfe, unsicher wird. Von dieser Art sind die Verhältnisse des Rheins im Binger-Loche und auf andern benachbarten Felsbänken. Im Schiffahrtsinteresse ist es dringend nöthig, diejenigen hohen Felsköpfe zu entfernen, welche im oder neben dem gewöhnlichen Fahrwasser liegen, und auf welche die Schiffe daher leicht aufstofsen können. Bevor indessen die Fortsprengung derselben eingeleitet werden kann, mufs man wissen, wo und wie hoch sie liegen. Bei der bedeutenden Tiefe des Rheins, verbunden mit der heftigen Strömung, läfst der blofse Anblick der Wasserfläche die gefährlichen Untiefen, die vielleicht nur um wenige Zolle über das Bette sich erheben, nicht deutlich erkennen. Nur in einzelnen Fällen bemerkt man ein Aufwirbeln des Wassers, doch ist auch dieses nur bei grofser Aufmerksamkeit wahrzunehmen. Nichts desto weniger sind solche unbedeutende Vorragungen schon höchst gefährlich, weil der Rhein oberhalb, wie auch unterhalb eine gröfsere Tiefe hat, und daher die Ladungen der Schiffe so gewählt werden, dafs sie nur so eben über und zwischen diesen Untiefen

hindurch schwimmen können. Eine Felsspitze, welche daher auch nur wenig vorragt, trifft schon den Boden des Schiffes und beschädigt ihn, besonders wenn das Schiff stromabwärts fährt und mit der ganzen Geschwindigkeit des Stroms sich bewegt.

Um die am weitesten vortretenden Felsen, wenn sie auch nur geringe Ausdehnung haben sicher zu erkennen, benutzte der damalige Bauinspector Elsner um das Jahr 1840 einen Apparat, der zwar in sofern mangelhaft war, als er die Lage des vortretenden Kopfes nicht in aller Schärfe angab, der aber dennoch wegen seiner Einfachheit Erwähnung verdient. Zwei Rheinnachen wurden durch übergelegte Hölzer mit einander verbunden, und unter den Nachen befand sich eine hochkantig gestellte eiserne Schiene von 15 Fufs Länge, die an ihren Enden durch zwei Maafsstäbe getragen wurde, welche an das mittlere Querholz so befestigt waren, dafs sie beliebig gehoben und gesenkt, auch zugleich sich nach vorn überneigen konnten, sobald die Schiene den Felsen berührte. Nachdem nun der Apparat an einer bestimmten Stelle oberhalb der zu untersuchenden Strecke vor Anker gelegt, und seine Lage durch die vorher aufgenommenen Festpunkte sicher bestimmt war, stellte man jene Maafsstäbe so ein, dafs die Schiene horizontal und in einer gewissen Tiefe unter Wasser schwebte. Indem die Nachen in der Richtung des Stromes lagen, so war die Schiene rechtwinklich dagegen gekehrt. Nunmehr löste man das Ankertau und der Apparat trieb eine Strecke hindurch, deren Länge an dem auslaufenden Tau sich leicht abmessen liefs, den Strom herab. Während dieses Treibens wird das starke Rauschen und die schwankende Bewegung der Nachen vollständig unterbrochen, und man fühlt daher sehr deutlich jede Berührung des Grundes, während bei gröfserer Erhebung des Felsens die Stäbe, welche die Schiene tragen, sich merklich überneigen. Am Ende der zu untersuchenden Strecke wird das Ankertau angehalten, und man zieht daran die Nachen wieder an die ursprüngliche Stelle. War der Felsboden berührt, so wird die Schiene etwas höher gestellt, und die Operation so lange wiederholt, bis endlich die Berührung aufhört. Es gelang hierdurch, die gröfste Erhebung der Felsen bis auf einen Zoll gegen den jedesmaligen Wasserstand festzustellen, und dieser mufste durch Pegel, die in der Nähe eingerichtet waren, scharf beobachtet werden. Welche Ausdehnung der zu beseitigende Felsenkopf hatte, und an welcher Stelle

er von der Schiene berührt war, liefs sich hierdurch freilich nicht erkennen, doch war dieser Mangel nicht von Bedeutung, da man vor dem Beginn der Sprengungs-Arbeiten von dem dazu bestimmten Nachen aus hinreichend Gelegenheit hatte, den zu beseitigenden Kopf genau zu untersuchen.

Behufs der späteren Felsensprengungen im Rhein zwischen Bingen und St. Goar wählte man ein andres Verfahren zur Auffindung der zu beseitigenden Köpfe. Man verband wieder zwei 60 Fufs lange Fahrzeuge mit einander, von denen das eine an einer Seite in je 6 Fufs Entfernung mit zwei lothrecht über einander befindlichen Ringen versehn war. Durch diese wurden dünne Stäbe gesteckt, die bis zu der beabsichtigten Tiefe des Fahrwassers herabreichten. Indem nun diese Fahrzeuge nicht mit dem Strome herabtrieben, sondern während sie vor einem in hinreichender Entfernung ausgebrachten Anker lagen, wie eine fliegende Brücke oder eine Gierponte quer über das darzustellende Fahrwasser hin- und herfuhren, so brachen diejenigen Stangen ab, welche den Felsen berührten. *)

Nachdem die Tiefenmessungen angestellt sind, lassen sich die erforderlichen Profilzeichnungen leicht zusammenstellen. Beim Längenprofil wird der Längenmaafsstab gewöhnlich eben so grofs gewählt, wie er für die Stromcharte angenommen war, der Höhenmaafsstab mufs aber so grofs sein, dafs sich die gemessnen Höhendifferenzen und die Tiefen noch deutlich markiren.

Das Längenprofil wird gewöhnlich in dem sogenannten Stromstriche gemessen und aufgetragen, also in der Richtung der stärksten Strömung. Es ist schwer dieselbe genau zu ermitteln, doch ist hierbei gemeinhin eine grofse Schärfe auch nicht erforderlich, und man begnügt sich damit, sie nach dem Wege, den freischwimmende Körper bei ruhiger Witterung verfolgen, zu bestimmen, und gewöhnlich trifft der Stromstrich mit der gröfsten Tiefe in den Querprofilen zusammen. Man könnte hiernach beide Definitionen dadurch verbinden, dafs man sagte, der Stromstrich liege in derjenigen Section jedes Querprofils, welche unter allen Sectionen von

*) Beschreibung der speciellen Aufnahme und Verpeilung des Rheinstrombettes, von Hartman, in Erbkam's Zeitschrift für das Bauwesen, XVIII. Jahrgang. 1868. Seite 232.

gleicher Breite die gröfste Wassermenge abführt. Beim Herabfahren verfolgen die Schiffer theils die stärkste Strömung, um schnell den Weg zurückzulegen, theils aber suchen sie auch das tiefste Fahrwasser, und insofern Beides im Stromstriche sich zu vereinigen pflegt, so ist der Stromstrich wieder mit dem Thalwege übereinstimmend.

Der Wasserspiegel wird nach Maafsgabe des Nivellements für einen bestimmten, und in der Ueberschrift besonders bezeichneten Wasserstand aufgetragen. Die Tiefen, gewöhnlich in Abständen von 10 zu 10 Ruthen gemessen ergeben alsdann die Höhenlage des Strombettes. Ferner sind die Höhen der beiderseitigen Ufer, etwa des rechten durch ausgezogene und des linken durch punktirte Linien zu markiren, doch bleiben diese Angaben meist sehr unsicher. Dagegen ist es wichtig die Höhen der Leinpfade, der Deiche, der Wehre, Brücken und dergleichen, so wie der Nullpunkte der Pegel nicht nur durch die Zeichnung, sondern letztere auch durch beigeschriebene Zahlen gegen den angenommenen Normal-Horizont zu bezeichnen. Endlich werden darin auch noch andre Wasserstände, und namentlich die höchsten, soweit sie sich ermitteln lassen, eingetragen.

Die Querprofile, welche meist grofsen Veränderungen unterworfen sind, so lange man den Strom sich selbst überläfst, und deren Aufnahme auch bedeutende Kosten zu verursachen pflegt, mifst man gemeinhin nur an solchen Stellen, wo behufs einer beabsichtigten Stromcorrection ihre Kenntnifs nothwendig ist. In diesem Falle ist es am angemessensten, sie in demselben Maafsstabe, der für die Höhen des Längenprofils gewählt war, zu zeichnen und zwar so, dafs derselbe auch für die Längen angenommen wird, wodurch man eine unnatürliche Verzerrung der Figur vermeidet und den Vortheil erreicht, dafs die Dossirungen sich richtig darstellen.

Aus den Querprofilen läfst sich leicht der Flächeninhalt derselben berechnen. Dabei kann man natürlich nur diejenigen Abstände des Bettes vom Wasserspiegel zum Grunde legen, die man wirklich gemessen hat, für die zwischenliegenden Stellen ist es aber ungewifs, ob das Bette nach oben oder nach unten gekrümmt sei. Die wahrscheinlichste Voraussetzung, die man hierüber machen kann, ist, dafs die gemessenen Punkte durch gerade Linien verbunden sind. Diese Aufnahme führt zu einer sehr leichten Berechnung des Pro-

fils. Die Tiefen seien, in gleichen Abständen gemessen, gleich t, t' t'' u. s. w., während diese Abstände gleich a sind. Alsdann bilden sich an den Seiten Dreiecke, und im mittlern Theile Trapeze, die sämmtlich eine gleiche Grundlinie nämlich a haben. Bei der Flächenberechnung wird also jede einzelne Tiefe t zweimal in ihrer halben Grõfse eingeführt, die ganze Fläche des Querschnittes ist daher gleich

$$a\,(t + t' + t'' + \ldots\ldots)$$

§. 14.

Wasserstands-Beobachtungen.

Die Wichtigkeit der Wasserstands-Beobachtungen ergiebt sich schon aus den obigen Mittheilungen über die Anschwellungen der Ströme, ihr Nutzen ist indessen viel allgemeiner, und man kann in der That nicht nur keinen Strombau, sondern überhaupt keine bauliche Anlage in dem Inundationsgebiete eines Stroms vornehmen, ohne die Höhe der Wasserstände zu berücksichtigen. Jede Communication, sei es Strafse oder Brücke, die man hier erbaut, erhält diejenige Höhe, die sich nach den bisherigen Wasserstands-Beobachtungen als die zweckmäfsigste herauststellt. Die Tiefe des Strombettes, die Lage der Schleusendrempel, die Abzugsgräben, sowie die Höhe der Stromregulirungswerke, der Deiche und dergleichen wird hiernach beurtheilt, nicht minder auch die Höhe der Fangedämme, die man zum Schutze der Baugruben ausführt, und die der Leinpfade. Demnächst läfst die Vergleichung solcher Beobachtungen, die an verschiedenen Punkten desselben Stroms angestellt sind, seine Eigenthümlichkeiten zum Theil sehr deutlich wahrnehmen, und giebt die Wirkung der Nebenflüsse auf ihn zu erkennen. Die verschiedenartigen Anschwellungen an den einzelnen Punkten zeigen den Einfluís der Beschaffenheit des Bettes und des Flufsthales, und lassen sonach oft die Ursache eines Uebels errathen. Der Baumeister, der für die Correction eines Stroms zu sorgen hat, wird daher sehr häufig auf die Wasserstands-Beobachtungen zurückgehn, und dieselben auf verschiedene Weise zusammenstellen, um die Resultate, die er sucht, möglichst bequem daraus ableiten zu können. Es ergiebt

hieraus zugleich, wie nothwendig es ist, dafs diese Beobachtungen mit gehöriger Sorgfalt angestellt werden.

Die Vorrichtung, woran die Wasserstands-Beobachtungen gemacht werden, heifst der Pegel oder Marqueur. Er besteht gemeinhin nur in einer Latte, die in Fufse und Zolle eingetheilt, und so befestigt ist, dafs sie vor Beschädigungen möglichst gesichert, und entweder leicht zugänglich oder doch wenigstens von einem zugänglichen Punkte nicht weit entfernt ist, so dafs man den jedesmaligen Wasserstand daran scharf ablesen kann. Der Pegel findet hiernach eine sehr passende Stelle an dem hintersten Pfahle eines Eisbrechers, in welchem Falle er von der Brücke aus leicht zu beobachten ist, ferner an Schiffshaltern im Strome und in der Mündung der Flufshäfen, sowie auch in kleinen Buchten des Ufers, besonders wenn dieselben mit Bohlwerken oder Mauern eingefafst sind. Wo sich indessen eine solche Gelegenheit zu seiner Anbringung nicht vorfindet, und ein flaches Vorland sich längs dem Strome hinzieht, mufs man ihn schon in einiger Entfernung von dem letztern errichten, und einen kleinen Graben dahin führen, damit sich neben ihm jederzeit der Wasserstand des Stromes darstellt. Für die Reinhaltung solcher Gräben mufs aber immer gesorgt werden, weil der Strom dergleichen kleine Seitenverbindungen häufig verflacht.

Eine besondere Schwierigkeit verursacht zuweilen die Aufstellung der Pegel, wenn das Ufer sehr flach, und der Wechsel der Wasserstände sehr grofs ist. Alsdann müfste man die erwähnten Gräben übermäfsig verlängern, wenn man noch an demselben Pegel die kleinsten und höchsten Wasserstände beobachten wollte, und selbst dieses Mittel würde bei schnell eintretendem Wasserwechsel zu keinem sichern Resultate führen, weil der Graben eine längere Zeit zu seiner Füllung braucht, und sonach das Niveau des Stroms sich am Pegel erst merklich später darstellt und vielleicht Anschwellungen von kurzer Dauer gar nicht oder doch bedeutend niedriger anzeigt, als sie wirklich waren. In diesem Falle empfiehlt es sich den Pegel für das niedrige Wasser neben dem Strome, und den für das höhere neben dem wasserfreien Ufer anzubringen, oft zerlegt man aber einen solchen Pegel nicht nur in zwei, sondern in eine gröfsere Anzahl von Theilen, und es darf kaum erwähnt werden, dafs durch genaue Nivellements diese Theile verbunden werden müssen, damit ihre Eintheilung übereinstimmt.

Ferner sind noch die schrägen Pegel zu erwähnen, welche man sowohl auf geneigten Ufereinfassungen, wie auch an den Dossirungen der Deiche anzubringen pflegt. Wenn nämlich ein starker Eisgang unmittelbar vorbeigeht, so würde selbst ein niedriger Pfahl dem Stofse des Eises nicht widerstehn, und überdies würde das Ufer leiden, wenn derselbe umgerissen wird. Man legt also den Pegel flach auf die Dossirung, oder versenkt ihn noch etwas in dieselbe, so dafs das Eis gar nicht dagegen treiben kann. Die Eintheilung mufs aber der Neigung entsprechen, damit der verticale Abstand der Theilungspunkte die richtige Gröfse erhält.

Zuweilen giebt man den Pegeln künstlichere Einrichtungen, doch kommen solche an Flüssen wohl nur in der Nähe ihrer Mündungen in die See vor, ihre Beschreibung ist daher im dritten Theile dieses Handbuches §. 6. gegeben.

Dafs die Eintheilung des gewöhnlichen Pegels vom niedrigsten bis zum höchsten Wasserstande, oder vielmehr noch etwas über beide hinaus ausgedehnt sein mufs, bedarf kaum der Erwähnung, ebenso auch, dafs das Maafs richtig übertragen und die Latte lothrecht gestellt werden mufs, wenn man nicht etwa schräge Pegel bilden will. Demnächst ist es auch nöthig, dafs die Eintheilung immer hinreichend deutlich bleibt, um die Ablesung scharf machen zu können. Gewöhnlich wird die Latte mit weifser Oelfarbe angestrichen und die Eintheilung mit schwarzer Farbe aufgetragen, während man die Zahlen daneben schreibt. Wie deutlich indessen die Bezeichnungsart auch gewählt sein mag, so wird doch bald die Eintheilung, wenn sie nur durch die Farbe markirt ist, in Folge des aus dem Wasser abgesetzten Schlammes und aufgewehten Staubes unkenntlich. Durch Abwaschen läfst sich freilich die Reinigung vornehmen, indessen ist es zuweilen nicht leicht, zum Pegel zu kommen, und jedenfalls wäre es vorzuziehn, wenn die Verunreinigung nicht so störend ausfiele. Dieses läfst sich dadurch erreichen, dafs man die einzelnen Zolle vor die Ebene des Maafsstabes vortreten läfst, und eine sehr passende und einfache Einrichtung ist es, wenn man zur Bezeichnung der Eintheilung besondere Nägel mit viereckigen starken Köpfen von 1 Zoll Höhe schmieden läfst, und mit diesen die geraden Zolle bezeichnet, während die ungeraden dazwischen sich durch den vertieften Raum markiren. Wenn man hierbei noch den sechsten Zoll durch einen daneben geschlagenen Nagel mit run-

dem Kopfe und die einzelnen Fufse dadurch unterscheidet, dafs die Zolle abwechfselnd an der linken und rechten Seite der Latte angebracht werden, so wird die Ablesung, selbst wenn starker Schlamm sich aufgesetzt hat, noch sicher sein, und gewöhnlich wird man den Wasserstand schon nach diesen Nägeln beurtheilen können, ohne die beigeschriebenen Zahlen ablesen zu dürfen.

In neuerer Zeit werden zuweilen auch gufseiserne oder Porcellan-Platten von etwa 2 Fufs Länge benutzt, auf welchen die Eintheilung angebracht ist. Auf den ersteren treten die Zolle abwechselnd, wie auch die Marken, welche die ganzen Fufse angeben, nebst den daneben stehenden Zahlen vor die Fläche bedeutend vor, so dafs man sie noch erkennen kann, wenn auch die Farbe durch Schmutz verdeckt ist. Auf den Porcellan-Tafeln ist dagegen die Eintheilung nur durch schwarze Farbe bezeichnet. Bei ihrer glatten Oberfläche sind sie der Verunreinigung etwas weniger ausgesetzt, und tritt solche dennoch ein, so ist sie durch Abwaschen leicht zu beseitigen. Beide Arten von Platten sind indessen in Betreff der Richtigkeit des Maafses kaum zu empfehlen, da einerseits schon in den einzelnen Stücken beim Gufs oder beim Brennen leicht merkliche Fehler vorkommen können, die richtige Zusammensetzung derselben aber auch nicht leicht ist. Jedenfalls mufs man sehr sorgfältig prüfen, ob sie in ihrer ganzen Länge und in allen Theilen wirklich das richtige Maafs darstellen.

Von der äufsersten Bedeutung ist es, dafs die Pegel dauernd in derselben Höhe bleiben. Wie bereits erwähnt, bestehn sie gewöhnlich nur aus starken Latten oder aus Bohlen, die an Pfähle genagelt sind. Sie sind daher vielfachen Beschädigungen ausgesetzt und müssen, wenn solche auch nicht vorkommen, doch nach wenig Jahren erneut werden. Damit sie in solchem Falle immer wieder die gleiche Höhe, wie früher, erhalten, schrieb schon die im Anfange dieses Jahrhunderts erlafsne Instruction vor, dafs alle Pegel durch sorgfältige Nivellements an feste Marken in der Nähe, wie zum Beispiel an genau bezeichnete Stellen einer Plinte oder Fensterbrüstung oder eine zu diesem Zweck angebrachte Klammer an einem massiven Gebäude angeschlossen, und ein solches Nivellement nach jeder Erneuung oder Reparatur eines Pegels wiederholt und das gefundene Resultat in einer Verhandlung niedergelegt werden sollte.

Diese Vorschrift ergab sich indessen als ungenügend. Die ersten Verhandlungen wurden freilich aufgenommen, aber mit wenigen Ausnahmen wurde die erlafsne Vorschrift nicht weiter beachtet. Es kam sogar vor, dafs jene Festpunkte ganz verschwanden, ohne dafs es bemerkt und davon Anzeige gemacht wurde.

Um solchen Unregelmäfsigkeiten vorzubeugen enthält die 1845 erlafsne Instruction die Bestimmung, dafs am Schlusse jedes Jahres bei Zusammenstellung der Wasserstands-Beobachtungen, der Baubeamte angeben mufs, dafs er an einem bestimmt bezeichneten Tage des vergangenen Jahres das Nivellement ausgeführt und dabei das gleichfalls genau anzugebende Resultat gefunden habe. Zu gröfserer Sicherheit wurde noch die Form einer dienstlichen Bescheinigung gefordert. Diese Vorsicht war unbedingt nothwendig, weil ohne dieselbe, mancher Baubeamte, so oft ihm nicht irgend eine Aenderung am Pegel bekannt geworden, die Erklärung abgegeben hätte, dafs die Höhenlage unverändert geblieben.

Fast überall wählt man die Bezeichnung der Pegel in der Art, dafs sie von unten nach oben zählen, dafs sie also bei höherem Wasserstande eine gröfsere Anzahl von Fufsen markiren, als bei niedrigerem. Nur im Badenschen ist man, soviel mir bekannt, von dieser allgemeinen Regel abgewichen, indem man den Nullpunkt auf den höchsten bekannten Wasserstand gelegt hat und der Pegel abwärts zählt. Auf diese Art zeigt also der Pegel das Entgegengesetzte des Wasserstandes an, je weniger Fufse er markirt, um so höher ist der letztere. Die sonst übliche Numerirung erscheint weit angemessner, als diese.

Die Wahl des Nullpunktes bei einem Pegel ist an sich ziemlich willkührlich. In früherer Zeit folgte man dabei ohne Zweifel der Ansicht, dafs der Nullpunkt mit der flachsten Stelle des Fahrwassers correspondiren müsse, so dafs der Schiffer den Tiefgang seines Schiffes übereinstimmend mit dem Wasserstande am Pegel wählen konnte, ohne dafs er fürchten durfte, auf den Untiefen ein Hindernifs zu finden. So bezeichnete der Pegel in Pillau die Wassertiefe auf der nahe gelegenen Untiefe im Fahrwasser nach Königsberg, die Rinne genannt, der Pegel in Königsberg die Wassertiefe vor der Mündung des Pregels, der Pegel in Bingen die Wassertiefe im Bingerloche, wobei jedoch für die Sicherheit der Passage dadurch gesorgt war, dafs der Wasserstand wirklich etwas gröfser war, und

sonach bei einem Verfehlen des tiefsten Fahrwassers das Schiff nicht gleich aufstiefs. Wie angemessen indessen eine solche Wahl des Nullpunktes auch erscheinen mag, so läfst sich doch die Uebereinstimmung der Tiefe nicht bei allen Wasserständen darstellen, denn das Wasser steigt und fällt keineswegs auf gröfsere Längen ganz gleichmäfsig. Endlich aber würde bei jeder vorkommenden Correction des Stromes, oder bei jeder zufälligen Aenderung der Tiefe auch immer eine Aenderung des Pegels vorgenommen werden müssen.

Es ergiebt sich schon aus dem Gesagten, dafs eine genaue Uebereinstimmung zwischen zwei und mehreren Pegeln an demselben Strome für alle Wasserstände nicht möglich ist, wenn man nicht etwa den einen Pegel nach einem gröfsern oder kleinern und noch dazu ungleichförmigen Maafse eintheilen wollte. Selbst dieses Mittel würde indessen nur so lange von Erfolg sein, als das Strombette unverändert bleibt. Es kommt aber auf die Uebereinstimmung der Pegel durchaus nicht an, denn man kann mit geringer Mühe durch Vergleichung der Beobachtungen finden, um wieviel die einzelnen Pegel bei verschiedenen Wasserständen von einander abweichen. Der wichtigste Umstand, der allein Berücksichtigung verdient, bezieht sich auf die unveränderte Beibehaltung desjenigen Nullpunktes, auf den sich lange Beobachtungsreihen beziehn, und hierauf gründet sich die Regel, dafs man an Pegeln keine Veränderungen vornehmen darf. Die Erfahrung hat namentlich in Holland gezeigt, dafs eingeführte Aenderungen zu vielen Mifsverständnissen und dadurch wieder zu Unglücksfällen leicht Veranlassung geben. Die einzige Ausnahme, die sich hierbei zum Theil rechtfertigen läfst, findet statt, wenn der Nullpunkt höher, als der kleinste Wasserstand liegt, und sonach beim Eintreten des letzteren negative Höhen notirt werden müssen, wobei die gewöhnlichen Stromaufseher oder andre Personen, welche die Beobachtung der Wasserstände übernommen haben, leicht falsche Angaben in die Tabellen einführen. Bei uns war vorgeschrieben, dafs in diesem Falle eine Senkung um volle Fufse vorgenommen werden soll, damit die Reduction sich nur auf die Anzahl der Fufse beziehn darf und die einzelnen Zolle unverändert bleiben. Es mufste hiernach an mehrern Pegeln des Düsseldorfer Regierungsbezirkes vor 50 Jahren eine Senkung des Nullpunktes eingeführt werden, und zwar um 2 Fufs, man bezeichnet aber noch heut zu Tage namentlich in Deichangelegenheiten die

Wasserstände nicht selten nach den alten Pegeln, wiewohl solche nicht mehr existiren. Nach dieser Erfahrung dürfte es zweifelhaft sein, ob selbst solche Aenderungen zu empfehlen sind und ob es nicht zweckmäfsiger wäre, in den seltenen Fällen lieber die negativen Zahlen beizubehalten, als eine lange bestandene Bezeichnungsart, woran das Publikum sich gewöhnt hat, und wobei die frühern Erfahrungen gleich die Gröfse der Gefahr ins Gedächtnifs rufen, mit einer andern zu vertauschen.

Wenn neue Pegel gesetzt werden, wo solche bisher noch nicht bestanden, oder wo dieselben weder regelmäfsig beobachtet, noch sonst benutzt wurden, hat man in der Wahl des Nullpunktes freie Hand, und man darf nur dafür sorgen, dafs derselbe unter das kleinste Wasser trifft. Man pflegt ihn alsdann zwei Fufs tiefer, als dieses muthmafslich herabsinkt, zu legen. Sollen dagegen mehrere Pegel neu eingerichtet werden, so giebt es gewifs keinen Grund, der die absichtliche Einführung einer Ungleichmäfsigkeit dabei rechtfertigen würde, man stellt sie daher so auf, dafs sie bei kleinem Wasser correspondiren. Eine besondere Sorgfalt in dieser Beziehung ist aber ohne Zweck, da die Uebereinstimmung doch nicht dauernd ist.

Wo Pegel neben Schiffsschleusen errichtet werden, ist es zweckmäfsig dieselben mit den Drempeln in Verbindung zu setzen, wie dieses im Preufsischen auch vorgeschrieben ist. Die Vorschrift besagt, dafs beide Pegel, nämlich ebensowohl der im Oberwasser, wie der im Unterwasser ihre Nullpunkte in demselben Horizonte haben sollen, damit das Gefälle sich aus der Differenz der beiden abgelesenen Wasserstände ergiebt. Dieser Nullpunkt soll aber wenigstens zwei Fufs unter dem kleinsten Unterwasser liegen, aufserdem aber soll der Oberdrempel auf einen vollen Fufs des Pegels treffen.

An den Hauptpegeln wird der Wasserstand täglich einmal beobachtet. Die Wahl der Stunde, in welcher dieses geschieht, ist durch nichts bedingt, aber es ist nothwendig, dafs die Beobachtungen immer in derselben Tageszeit angestellt werden, weil sonst der mittlere Wasserstand sich nicht mehr aus dem arithmetischen Mittel richtig ergeben würde. Nach der neueren Instruction sind die Ablesungen um 12 Uhr Mittags zu machen, doch ist gestattet, sie auch etwas früher oder später vorzunehmen. Treten am Tage zu andrer

Zeit besonders hohe oder niedrige Wasserstände ein, so sind dieselben gleichfalls zu notiren, jedoch in eine andere Spalte der Tabelle einzutragen. Der Wasserstand wird in Fufsen und Zollen bezeichnet, Theile des Zolles sind bei der gewöhnlichen Einrichtung der Pegel, namentlich wenn man nicht sehr nahe herantreten kann, nicht sicher zu erkennen, aufserdem verhindert das fortwährende Schwanken des Wasserspiegels in strömenden oder bewegten Gewässern jede genauere Beobachtung.

Ferner müssen die Tabellen die Angabe enthalten, an welchen Tagen der Strom mit Eis bedeckt war, oder starker Eisgang oder auch die Abführung von kleinerem Eise stattfand. Aufserdem pflegt man noch manche meteorologische Notizen über die Richtung und Stärke des Windes und über das Wetter zuzufügen, soweit sich solche ohne Instrumente wahrnehmen lassen. Diese Angaben fallen indessen gewöhnlich sehr unzuverlässig aus.

Aufser den Wasserstands-Tabellen pflegt man auch noch Wasserstands-Scalen zusammenzustellen, das heifst es werden Curven gezeichnet, für welche die Zeiten die Abscissen, und die beobachteten Wasserstände die Ordinaten sind. Sie geben den Wechsel des Wasserstandes sehr klar zu erkennen, doch gewährt diese Zusammenstellung nur eine allgemeine Uebersicht, und man mufs jedesmal auf die Tabellen zurückgehn, sobald man die Verhältnisse schärfer aufklären will. Die Scalen sind nur von Wichtigkeit, wenn sie in gröfserem Maafsstabe gezeichnet werden, und besonders wenn dasselbe Blatt verschiedene gleichzeitige Beobachtungen umfafst oder mehrere Zusammenstellungen enthält. In dieser Weise sind in Figur 65 für Juli 1843 die Wasserstände der Weser zusammengetragen, und es stellt sich der Gang der Veränderungen und die verschiedene Höhe der Anschwellungen und Senkungen des Stroms dadurch sehr deutlich dar. Aufserdem kann man durch solche Scalen manche Eigenthümlichkeiten des Stroms und die darin eingetretenen Veränderungen erkennen, wie dieses §. 10. ausführlich auseinandergesetzt ist.

§. 15.
Geschwindigkeits-Messungen.

Die Uferabbrüche, sowie überhaupt die meisten Veränderungen, welche das Strombett erfährt, werden durch die Geschwindigkeit bedingt, womit das Wasser sich bewegt, und wenn man die Verhältnisse ändern will, so ist es zuweilen nicht genügend, die Geschwindigkeit im Allgemeinen zu kennen, vielmehr mufs man sie häufig an einzelnen Stellen und zwar bei verschiednen Wasserständen messen. Ferner hat die Geschwindigkeit oft einen unmittelbaren Einfluſs auf den Betrieb der Schiffahrt, und aufserdem kann man die Wassermenge der Flüsse und Ströme nur aus der Geschwindigkeit herleiten. In der letzten Beziehung stellt diese Messung sich bei Mühlenanlagen, Entwässerungen und bei vielen andern Gelegenheiten als höchst wichtig dar. Ihre gröfste Wichtigkeit beruht aber darauf, dafs sie vorzugsweise die Gesetze andeutet, nach welchen das Wasser in den Flufsbetten sich bewegt und seine verschiednen Wirkungen äufsert. Die Erfahrungssätze, die hierüber gesammelt sind, beruhen auf Geschwindigkeits-Messungen, und nur durch Vervielfältigung derselben läfst sich ein Fortschritt in diesem Theile der Hydraulik erwarten. Diese Ansicht hat sich auch bereits seit langer Zeit geltend gemacht, und namentlich haben die Italiänischen Gelehrten, welche sich mit der Bewegung des Wassers im Strombette beschäftigten, sehr verschiedene Apparate zur Messung der Geschwindigkeiten erdacht. Die Anzahl dieser Instrumente ist später noch ansehnlich vermehrt worden. Ich will die wichtigsten derselben im Folgenden näher beschreiben und ihre Vorzüge und Mängel angeben.

Diese Instrumente zerfallen in zwei Classen, die sich dadurch unterscheiden, dafs sie entweder die Geschwindigkeit unmittelbar angeben, oder den Stofs des bewegten Wassers gegen gewisse Flächen. Dafs dieser Stofs von der Geschwindigkeit abhängt, leidet keinen Zweifel, und zwar nimmt jener zu, sobald diese gröfser wird, die Beziehung zwischen beiden ist indessen noch keineswegs vollständig aufgeklärt. Die Reduction ist daher nicht leicht.

Am sichersten verfährt man, wenn man das Instrument, welches den Stofs mifst, vor dem eigentlichen Gebrauche an verschiednen, bereits bekannten Geschwindigkeiten prüft, und aus den dabei beobachteten Werthen durch Interpolation eine Tabelle zusammenstellt, welche für die zwischenliegenden Werthe des Stofses die entsprechenden Geschwindigkeiten entnehmen läfst. Hat man auf solche Weise die Beobachtungen vorbereitet, so stellt sich beim Gebrauch dieser Instrumente der Vortheil heraus, dafs man nur eine Ablesung vornehmen darf, während im andern Falle auch die Zeit, in welcher das Instrument den Impuls des Stroms empfangen hat, gemessen werden mufs. Die erwähnte Prüfung ist indessen nicht leicht, und setzt wieder die Benutzung solcher Instrumente voraus, mit welchen man die Geschwindigkeit unmittelbar messen kann. Die letzten sind daher im Allgemeinen bequemer und sicherer, und werden heut zu Tage vorzugsweise benutzt.

Ich mache mit der Beschreibung derjenigen Instrumente den Anfang, welche die Geschwindigkeit unmittelbar angeben, und unter diesen erwähne ich zuerst die Apparate, welche man frei im Strome treiben läfst. Bei Anwendung derselben treten manche Uebelstände ein, deren Einfluſs zuweilen unschädlich bleibt, der jedoch in andern Fällen nicht leicht zu beseitigen ist.

Jeder im Strome freischwimmende Körper gleitet in der Richtung des Gefälles wie auf einer geneigten Ebene herab. Die Geschwindigkeit, die er annimmt, ist aber nicht unmittelbar von der Neigung der Fläche, sondern vielmehr von der Geschwindigkeit des umgebenden Wassers abhängig. Er kann sich weder viel schneller, noch viel langsamer, als dieses, dauernd bewegen, weil er sonst an der vordern oder der hintern Seite vom Wasser getroffen und dadurch verzögert oder beschleunigt werden würde. Die Erfahrung lehrt jedoch, dafs grofse schwimmende Körper, wie Schiffe, beim Herabfahren eines Stroms, wenn sie auch durch keine andre Kraft getrieben werden, schneller, als das Wasser, sich fortbewegen, und daher die Wirkung des Steuerruders auf sie immer fühlbar bleibt. Letztere müfste ganz aufhören, wenn die Schiffe genau dieselbe Geschwindigkeit, wie das umgebende Wasser annähmen, oder sie relativ gegen dasselbe sich in Ruhe befänden. Die Umstände wären dieselben, wie in stehendem Wasser, wo das ruhende Schiff von dem Steuer gleichfalls nicht afficirt wird. Das Voreilen des Schiffes

erklärt sich dadurch, dafs das Schiff die erlangte Geschwindigkeit nicht in sich zerstört, wie dieses das Wasser in Folge der Wirbel und sonstigen innern Bewegungen thut.

Ohne Zweifel nimmt die Differenz zwischen beiden Geschwindigkeiten mit der Gröfse des schwimmenden Körpers zu, und sonach haben kleine Körper nahe dieselbe Geschwindigkeit, wie das Wasser. Man darf daher nicht besorgen, dafs die Apparate, von denen hier die Rede sein wird, in dieser Beziehung zu merklich fehlerhaften Resultaten führen, wenn gleich der Cabeosche Stab in der Regel etwas gröfsere Geschwindigkeiten angiebt, als der Woltmansche Flügel mit Rücksicht auf die verschiedenen Tiefen, die der erste umfafst.

Ein zweiter Umstand, der die Anwendung der erwähnten Art von Geschwindigkeitsmessungen beschränkt, bezieht sich darauf, dafs alle frei herabschwimmenden Körper sich nicht parallel zur Achse des Stroms bewegen, sondern nach und nach gegen die Linie der Hauptströmung oder nach dem Stromstriche hintreiben. Man kann daher in aller Schärfe nur in diesem eine Messung der erwähnten Art anstellen. Bei geraden und regelmäfsigen Stromstrecken ist jedoch diese Ablenkung der Körper nur unbedeutend, und sonach ist es alsdann immer noch möglich, nach dieser Methode mit genügender Sicherheit die Geschwindigkeiten für verschiedene Sectionen zu finden.

Fig. 72, Taf. X. zeigt die einfache Anordnung, welche zu diesem Zwecke erforderlich ist. In einer geraden Stromstrecke steckt man zwei Querschnitte AB und CD in solcher Entfernung von einander ab, dafs der herabschwimmende Körper 2 bis 3 Minuten gebraucht, um aus der einen Linie in die andre zu gelangen. Alsdann läfst man in der Entfernung von 5 bis 10 Ruthen oberhalb des ersten Querschnittes den gewählten Apparat ins Wasser legen und beobachtet entweder selbst in beiden Querschnitten nach den ausgesteckten Signalen den Durchgang, oder dieses geschieht durch zwei Personen, welche mit Secunden-Uhren versehn sind, die vor und nach der Messung mit einander verglichen werden. Vortheilhafter ist es, wenn man die eigentliche Messung selbst ausführt und dadurch das Resultat von der Aufmerksamkeit und Gewissenhaftigkeit der Gehülfen unabhängig macht. Wenn die Strömung nicht ungewöhnlich stark ist, so ist es auch leicht, den Durchgang des

schwimmenden Körpers durch die erste Linie zu beobachten, und alsdann noch zeitig genug nach der zweiten zu gelangen, um auch hier, und zwar mit Benutzung derselben Uhr, die zweite Beobachtung anzustellen.

Wird der schwimmende Körper in den Stromstrich getrieben, so bleibt er darin, ist dieses aber nicht geschehn, so nähert er sich demselben. Diese Annäherung erfolgt indessen in geraden Stromstrecken, wo der Stromstrich überhaupt wenig markirt ist, nur sehr langsam, also etwa nach den in der Figur angegebenen punktirten Linien. Man kann daher die Geschwindigkeit in verschiedenen Sectionen des Stroms hinreichend genau bestimmen, wenn die beiden angenommenen Querschnitte, welche den Beobachtungsraum begrenzen, nicht weit von einander entfernt sind. Es giebt aber auch keine Veranlassung, den Abstand derselben sehr grofs anzunehmen, oder die Beobachtungszeit weit auszudehnen, da eine grofse Genauigkeit, also etwa eine Schärfe der Messung, welche das Resultat bis auf ein Procent sicher angäbe, schon wegen der ungleichförmigen Bewegung des Wassers wohl nie zu erreichen ist. Das von Wiebeking angewandte Verfahren, den schwimmenden Körper vom Ufer oder von einem Nachen aus an einem Faden zu führen und dadurch seine Annäherung an den Stromstrich zu verhindern, ist wegen der dabei leicht möglichen Störungen nicht zu empfehlen.

Endlich mufs noch erwähnt werden, dafs der Körper, dessen Bewegung man mifst, nicht weit über die Oberfläche des Wassers vorragen, und besonders keine grofse Fläche dem Winde darbieten darf, weil man sonst nicht mehr die Wirkung der Strömung allein beobachten würde.

Die angeführten Umstände bedingen die Wahl und Anordnung der Körper, die man zur Messung der Geschwindigkeit im Strome treiben läfst. Die Form dieser Körper ist ziemlich gleichgültig, und man darf daher bei gelegentlicher Anstellung solcher Messungen keinen Irrthum besorgen, wenn man Stückchen Holz, Flaschen u. dergl. wählt, gewöhnlich giebt man aber der Kugel den Vorzug, insofern dieselbe bei jeder Lage, die sie auch annimmt, eine gleiche Oberfläche dem Drucke des vorangehenden wie des nachfolgenden Wassers darbietet. Wenn man daher einen besondern Apparat hierzu einrichten will, so läfst man eine Kugel aus verzinntem Eisenblech, oder weil dieses doch bald zu rosten pflegt, lieber aus

Messing- oder Kupferblech anfertigen. Die Kugel hat 6 bis 12 Zoll im Durchmesser und ist mit einer Oeffnung versehn, die mit einer Schraube oder einem Kork verschlossen werden kann. Diese Oeffnung dient dazu, die erforderliche Beschwerung anzubringen, damit die Kugel nur etwa mit dem zehnten Theile ihres Durchmessers über die Oberfläche des Wassers vorragt. Gewöhnlich wird Schrot hierzu angewendet, womit man die Kugel so weit füllt, dafs sie bis zur angegebenen Tiefe eintaucht. Fig. 73 *a* zeigt eine solche Kugel. Ihre Farbe ist nicht gleichgültig. Den metallischen Glanz darf sie nicht behalten, weil sie in diesem Falle von der spiegelnden Oberfläche des Wassers nicht deutlich genug unterschieden werden könnte. Man mufs sie daher matt färben, und am angemessensten dürfte es wohl sein, wie dieses auch Krayenhoff gethan hat, die rothe Farbe zu wählen.

Die Kugel mifst nur die Geschwindigkeit des Wassers in oder wenige Zolle unter der Oberfläche, man kann sie aber, wie Fig. 73 *b* zeigt, auch zur Messung der Geschwindigkeit in einer bestimmten Tiefe benutzen. Man versieht nämlich die oben beschriebene Kugel mit einer Oese und befestigt sie mittelst eines Fadens, dessen Länge der Tiefe gleichkommt, in welcher man die Geschwindigkeit messen will, an eine zweite Kugel. Die erste wird in diesem Falle so stark beschwert, dafs sie nicht nur selbst ganz untersinkt, sondern auch die zweite Kugel so weit herabzieht, dafs diese dem Einflusse des Windes entzogen wird. Die Geschwindigkeit, welche der so zusammengestellte Apparat annimmt, ist zum Theil durch die Geschwindigkeit des Wassers in der gewählten Tiefe und zum Theil durch die in der Oberfläche bedingt, insofern jedoch die letztere sich nur gegen eine viel kleinere Kugel äufsert, so ist ihr Einfluſs nur geringe, und der Apparat giebt ungefähr die Geschwindigkeit des Wassers an, welches die untere Kugel trifft. Genauer liefse sich die Beobachtung anstellen, wenn man zwei Kugeln von gleicher Gröfse annähme und die obere zuerst allein treiben liefse, in welchem Falle sie die Geschwindigkeit in der Oberfläche des Wassers bezeichnen würde, alsdann aber sie mit der zweiten verbände, wodurch man das arithmetische Mittel aus beiden Geschwindigkeiten beobachten könnte. Nennt man die obere Geschwindigkeit a und dieses arithmetische Mittel c, so ist die gesuchte Geschwindigkeit in der Höhe der untern Kugel gleich $2c - a$.

Der Apparat, dessen sich Humphreys und Abbot zur Messung der Geschwindigkeiten in verschiedenen Tiefen des Missisippi bedienten, stimmte mit dem beschriebenen überein. Statt der untern Kugel wurde aber eine kleine Tonne, und statt der obern eine Korkscheibe benutzt. Wegen der überwiegenden Gröfse der ersteren wurde vorausgesetzt, dafs die Geschwindigkeit in der Oberfläche ohne Einflufs bliebe, was doch nicht anzunehmen.

Mit diesem Apparat steht in naher Beziehung das Instrument, welches Cabeo angegeben hat, und das unter dem Namen des Cabeoschen Stabes oder des hydrometrischen Stabes bekannt ist. Wenn man nämlich die Geschwindigkeitsmessungen behufs der Ermittelung der Wassermenge anstellt, so kommt es darauf an, das arithmetische Mittel aus allen Geschwindigkeiten zu finden, welche in derselben Perpendiculären von dem Wasserspiegel abwärts in gleichen Abständen bis zum Bette des Stroms vorkommen. Eine solche wiederholte Messung in verschiedenen Tiefen ist sehr zeitraubend, während der Cabeosche Stab unmittelbar die mittlere Geschwindigkeit angiebt. Fig. 74. Er besteht aus einem cylindrischen Stabe aus trocknem Holz oder aus Blech, der von seinem untern Ende aufwärts in Fufse eingetheilt ist. Man belastet ihn so stark, dafs er bis gegen das Bette des Stroms herabreicht, ohne jedoch dasselbe während des Versuches irgendwo zu berühren, während er über der Oberfläche des Wassers etwas vorragt, damit man ihn mit Sicherheit erkennen, der Wind jedoch keinen merklichen Einflufs darauf äufsern kann. Es ergiebt sich hieraus, dafs man für Messungen bei verschiedenen Tiefen auch verschiedene Stäbe benutzen mufs. In stehendem Wasser schwimmt der Stab, nachdem die Beschwerung in die an seinem untern Ende befindliche Büchse eingebracht ist, lothrecht, im Strome dagegen stöfst das schneller fliefsende Wasser in der Nähe der Oberfläche ihn stärker fort, als das Wasser in der Nähe der Sohle. Er kann jedoch dem ersten Impulse nicht allein folgen, weil weiter abwärts das Wasser eine geringere Geschwindigkeit hat, ihn also zurückhält. Indem er aber nicht nur an seinem obern und untern Ende afficirt wird, sondern in seiner ganzen Länge die Differenz seiner Geschwindigkeit gegen die des Wassers, welches er trifft, einen Druck ausübt, der ihn entweder vordrängt oder zurückhält, und diese Pressungen sich gegenseitig aufheben, so kann man aus dieser Ausgleichung der Pres-

sungen auch auf die der Geschwindigkeiten schliefsen, und insofern der Stab auf seine ganze Länge einen gleichen Querschnitt hat, so folgt daraus, dafs er sich mit der mittlern Geschwindigkeit dieser Lothlinie im Stromprofile bewegen mufs. Das Instrument bietet daher besonders bei gröfsern Tiefen wesentliche Vortheile. Auf dem Preufsischen Nieder-Rhein ist es vielfach benutzt worden. Freilich treten dabei manche Unbequemlichkeiten ein, und namentlich gehört dahin die Bedingung, dafs der Stab nirgend den Boden berühren darf, weil in diesem Falle seine Bewegung mindestens verzögert wird. Man darf ihn also nur so tief eintauchen lassen, dafs er selbst auf denjenigen Stellen seines Weges, wo die Wassertiefe am geringsten ist, mit seinem untern Ende noch einige Zolle vom Boden entfernt bleibt. Der Uebelstand, dafs die Geschwindigkeiten, die das Wasser unmittelbar über der Sohle des Bettes annimmt, unbeachtet bleiben, ist indessen diesem Apparat keineswegs eigenthümlich, sondern tritt in gleicher Art bei allen sonstigen Methoden zur Messung der Geschwindigkeit ein. Sollte der Stab wieder Erwarten während des Versuches irgendwo den Boden berühren, so giebt sich dieses dadurch zu erkennen, dafs er sich plötzlich überneigt.

Aus der Bewegung des Stabes folgt schon, dafs derselbe nicht lothrecht schwimmt, sondern schräge nach vorn geneigt ist. Dieser Umstand ist unwesentlich, da die Bedingung der gleichmäfsigen Einwirkung der verschiedenen Wassertheilchen hierdurch nicht aufgehoben wird. Die wirkliche Tiefe der Eintauchung vermindert sich zwar etwas, doch ist dieselbe dem Cosinus des Neigungswinkels gegen das Loth proportional und sonach schon bei auffallenden Neigungen noch ziemlich unbedeutend. Krayenhoff hat eine gewifs sehr unstatthafte Veränderung dieses Apparates bei seinen Messungen eingeführt, wodurch er das Ueberneigen des Stabes zu verhindern, oder vielmehr nur zu verstecken beabsichtigte. Er brachte nämlich am obern Ende des Stabes einen flachen Schwimmer an, der auf dem Wasserspiegel ruhte *), indem aber dieser Schwimmer auch etwa zur Hälfte eintauchen mufste, um den sehr stark beschwerten Stab zu tragen, so folgt daraus, dafs die Wassertheilchen

*) Verzameling von hydrographische en topographische Waarnemingen. Seite 193.

in der Nähe der Oberfläche einen überwiegenden Einfluſs auf die Bewegung des Apparates erhielten, und derselbe daher nicht mehr die mittlere, sondern nahe die obere Geschwindigkeit angab.

Bei allen bisher bezeichneten Messungen ist es nöthig, den Weg zu kennen, in welchem der Schwimmer sich bewegt, durch die oben erwähnten beiden Visirlinien ist die Ausdehnung desselben freilich gegeben, doch kommt es darauf an, auch zu wissen, an welchen Punkten er die Visirlinien schneidet, und wieweit er sich dem Stromstrich genähert hat. Am passendsten dürfte es sein, wie auch Abbot gethan hat, etwa in der Mitte zwischen beiden Linien auf einem Ufer einen Horizontal-Kreis aufzustellen und die Alhidade desselben nach dem Schwimmer zu richten, sobald dessen Durchgang durch eine und die andre Linie signalisirt wird.

Es ist schon früher erwähnt worden, daſs Geschwindigkeits-Messungen in einem Strome zur Zeit hoher Anschwellungen aufserordentlich schwierig und oft unmöglich sind. Der Gebrauch der Schwimmer ist in solchem Falle auch nicht leicht. Die Kugel und der Stab lassen sich nicht mehr gehörig einsetzen und noch weniger wieder auffangen, aufserdem sind sie, wenn die Thalfläche inundirt ist und man sich dem Hauptstrom nicht gehörig nähern kann, auch nicht sicher zu beobachten. Führt dagegen eine Brücke über den Strom, so kann man noch eine ziemlich sichere Messung mit einem Schwimmer anstellen, den man an einem Faden im Strome herabtreiben läſst und dessen Geschwindigkeit nach der Länge des auslaufenden Fadens bestimmt wird. Wiebeking benutzte in dieser Weise die gewöhnliche Kugel, doch ist der Gebrauch des Logs, wie dasselbe auf den Seeschiffen angewendet wird, vorzuziehen. Der Faden, welcher den Schwimmer hält, wird nämlich, wenn man ihn auch möglichst frei folgen läſst, doch immer einen geringen Widerstand verursachen, der wenigstens so groſs sein muſs, daſs der Faden gehörig ausgezogen wird, und dieser Zug ist schon hinreichend, den Schwimmer in einer bestimmten Stellung zu erhalten. Die Kugelform ist daher nicht mehr als Erforderniſs anzusehn, und man kann eine Scheibe wählen, welche dem Angriffe des Wassers eine groſse Fläche darbietet und so wenig Masse hat, daſs sie sogleich die Geschwindigkeit des Wassers annimmt. Dieses Log ist in Fig. 75 dargestellt. Es besteht aus einem leichten hölzernen Brettchen in Form eines gleichseitigen Dreiecks von etwa 9 Zoll

Seite. Die Befestigung an drei Fäden, die sich in geringer Entfernung vereinigen, sichert demselben eine solche Stellung, dafs es dem Stofs des Wassers seine breite Seite normal entgegenkehrt. Es schwimmt gewöhnlich in der in der Figur dargestellten Lage. In der Entfernung von einigen Ruthen ist der Faden mit einem Knoten versehn, und ähnliche Knoten folgen alsdann in bestimmten Abständen, während eingebundene Lederstreifen diese Entfernungen bezeichnen. Wenn eine Messung gemacht werden soll, so wird das Brettchen ins Wasser geworfen, und sobald die Leine auszulaufen anfängt, der erste Knoten in der Hand festgehalten, bis die Zeitmessung gehörig vorbereitet ist. Beginnt diese, so öffnet man die Hand, mit der man bisher die Leine festhielt. Diese wird nun frei, und folgt in gleichem Maafse, wie sich das ausgeworfene Log entfernt. Im Augenblick, wo eine ganze oder halbe Minute verflossen ist, hält man die Leine wieder an, und die Bezeichnung des nächsten Knotens giebt die Länge des in der Zwischenzeit durchlaufenen Weges an. Um das Zurückziehn des Logs zu erleichtern, ist noch die Einrichtung getroffen, dafs von den erwähnten drei Enden nur zwei festgeknüpft, das dritte aber in einen Spalt eingeklemmt ist. Sobald die Leine daher plötzlich scharf angezogen wird, so löst sich diese dritte Verbindung, und das Log schwimmt flach auf dem Wasser und läfst sich leicht einholen.

Die folgenden Instrumente bezeichnen die Stärke der Strömung an einer bestimmten Stelle. Unter diesen mufs zuerst das hydrometrische Rad erwähnt werden, welches in seiner einfachsten Zusammenstellung Fig. 76 gezeichnet ist. Es besteht aus einer Achse, woran eine Scheibe befestigt ist, die an ihrem Umfange eine Reihe von Schaufeln, ähnlich einem unterschlächtigen Mühlenrade, trägt. Dieselben sind unter sich noch durch zwei Reifen verbunden, die überdiefs es verhindern, dafs nicht etwa der Faden, der die Anzahl der Umdrehungen angiebt, von den Schaufeln gefafst werden kann. Neben dem Rade befindet sich auf derselben Achse eine kleine Rolle, an welcher der erwähnte Faden befestigt ist. Man läfst das Rädchen während einer bestimmten Zeit mit den untern Schaufeln in das Wasser eintauchen, und wenn man es alsdann herauszieht, so zählt man die Windungen des Fadens auf der Rolle, woraus sich wieder die Anzahl der Umdrehungen und bei dem bekannten Radius auch die Geschwindigkeit des Mittelpunktes der

Schaufeln ergiebt, welche mit der des Wassers ungefähr übereinstimmt. Es ist klar, dafs man mit diesem Apparate nur die Geschwindigkeit in der Oberfläche des Stromes messen kann, und dafs die schräge Stellung der Schaufeln, wenn man auch die Tiefe ihrer Einsenkung scharf gemessen hat, manche Unregelmäfsigkeiten der Bewegung bedingt, woher das gefundene Resultat ziemlich unsicher bleibt. Nichts desto weniger ist dieser Apparat doch häufig angewendet, und in England bedient man sich desselben auch jetzt noch und zwar in ziemlich kleinen Dimensionen, so dafs das Rädchen kaum 6 Zoll Durchmesser hat. Dubuat gebrauchte es gleichfalls, und zwar war es aus Tannenholz construirt, acht Speichen trugen eben so viele Schaufeln, die drei Zoll hoch und breit waren. Durch umgeschlungene feine Drähte waren die Schaufeln unter sich verbunden. Der Durchmesser des Rades hielt 2 Fufs, und es wog *mit* der Achse nur 22 Loth. *)

Weit gröfsere Genauigkeit gewährt der hydrometrische Flügel, den man gewöhnlich nach seinem Erfinder, den Woltmanschen Flügel nennt. Die Schärfe, sowie auch in gewisser Beziehung der sehr bequeme Gebrauch dieses Instrumentes haben demselben allgemeinen Eingang verschafft, und es wird gegenwärtig beinahe ausschliefslich angewendet, wenn man genaue Resultate erhalten will. Woltman beschrieb es schon im Jahre 1790 in einer eignen Schrift **). In Deutschland fand es bald vielfache Anwendung, auch in Frankreich ist es oft benutzt und seine Zweckmäfsigkeit anerkannt. Man benennt es daselbst auch nach seinem Erfinder (moulinet de Woltman). In England dagegen blieb es fremde, bis es etwa 40 Jahre später von einem gewissen Saxton angeblich erfunden wurde.

Der Woltmansche Flügel gleicht einer kleinen Windmühle. Die Achse, an der sich zwei oder vier Flügel befinden, deren Flächen unter genau gleichen Winkeln gegen die Drehungsebene geneigt sind, wird in die Richtung der Strömung gestellt. Die Geschwindigkeit, mit der die Achse sich dreht, ist sonach, wenn die Reibung nicht etwa einen wesentlichen Einfluſs ausüben sollte, der Geschwin-

---

*) *Dubuat, principes d'hydraulique* II. §. 441.

**) Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels von R. Woltman. Hamburg 1790.

digkeit des Stroms proportional. An der Achse befindet sich aufserdem eine Schraube mit etwa drei Gängen, die wie Fig. 77 *a* und *b* zeigt, in die Zähne eines darunter angebrachten Rades eingreifen. Dieses Rad läfst sich aber beliebig aus den Schraubengängen entfernen, worauf es durch einen festen Zahn, der zugleich als Zeiger dient, unverrückt in seiner Stellung gehalten wird. Indem das Rad, so lange es in die Schraube eingreift, bei jeder Umdrehung der Flügelwelle sich um einen Winkel dreht, welcher der Länge eines Zahnes entspricht, so braucht man nur die Anzahl der Zähne abzuzählen, um welche das Rad während einer gewissen Zeit sich gedreht hat, um die Geschwindigkeit des Stromes zu kennen.

Man stellt das Rad gegen den festen Zahn so ein, dafs dieser in das mit Null oder nach der vorliegenden Figur in das mit 100 bezeichnete Intervall eingreift. Die Feder unter dem Rädchen drückt den kleinen Rahmen, worin das gezahnte Rad befestigt ist, herab, so dafs dieses ohne äufsere Veranlassung nicht drehen kann. Darauf stellt man den Flügel an der gewählten Stelle in der beliebigen Tiefe auf. Von dem Augenblicke ab, dafs der Flügel in den Strom eintaucht, dreht er sich, aber da seine Welle mit dem Rade noch in keiner Verbindung steht, so sind diese Drehungen auf das letztere ohne Einfluſs. Sobald Alles zur Beobachtung vorbereitet ist, und etwa der Zeiger der Secundenuhr den Anfang einer neuen Minute markirt, so zieht man an einem Faden den erwähnten Rahmen mit dem Rade herauf. Letzteres verläfst alsdann den festen Zahn und greift nunmehr in das Schraubengewinde, und wird durch dieses gedreht. Ist endlich die bestimmte Beobachtungszeit, also etwa eine Minute, verflossen, so läfst man den Rahmen mit dem Rade herabfallen, wodurch Letzteres wieder in den festen Zahn eingreift. Sobald man hierauf das Instrument aushebt, so ergiebt die Stellung des Rades gegen den Zeiger die Anzahl der Umdrehungen des Flügels während der Zeit, in welcher das Rad mit der Flügelwelle in Verbindung gehalten wurde. Man kann sonach in jeder beliebigen, und selbst in grofser Tiefe dieses Instrument gebrauchen, doch mufs man jedesmal, nachdem eine Beobachtung angestellt ist, es herausziehn und die Ablesung vornehmen. Dieser Umstand ist allerdings etwas unbequem und verzögert die Messung.

Zunächst ensteht die Frage, auf welche Weise man den Werth der einmaligen Umdrehung der Flügelwelle findet, das heifst, wie

die Länge des Wassercylinders zu ermitteln ist, der bei seinem Vorbeifliefsen einmal die Flügelwelle dreht. Woltman empfiehlt zu diesem Zweck, den Flügel in stehendem Wasser eine gewisse Strecke hindurch, also etwa 200 Fufs zu bewegen. Die auf dem Ufer gemessene Länge dieses Weges dividirt durch die Anzahl der Umdrehungen, die man an dem Rade abliest, giebt den gesuchten Werth jeder Umdrehung. Man kann sich dabei noch überzeugen, ob die Anzahl der Umdrehungen allein durch die Länge des ganzen Weges bedingt wird, oder ob die Geschwindigkeit, womit man den Flügel durch das Wasser zieht, hierauf Einfluſs hat. Bei den verschiedenen Flügeln, die ich benutzt habe, fand ich stets, dafs gröfsere und geringere Geschwindigkeiten genau dasselbe Resultat gaben, und dieses erklärt sich dadurch, dafs die Reibung wegen des geringen Gewichtes sehr klein war, und aufserdem das Wasser als Schmiere wirkte.

Sollte kein stehendes Wasser von hinreichender Ausdehnung in der Nähe sein, so giebt es noch ein andres Mittel, um eben so sicher den Werth der einzelnen Umdrehung des Flügels zu ermitteln. Man zieht nämlich auf Papier eine gerade Linie, und richtet die Achse des Flügels auf einer passenden Unterlage genau darüber, alsdann stellt man die Flügelruthe lothrecht und verschiebt ein Lineal unter dem Flügel so lange, bis es von oben gesehn mit der Fläche des Letztern zusammenfällt. Man dreht alsdann die nächste Ruthe nach oben und so fort und überzeugt sich dadurch, dafs wirklich alle Flügel unter gleichem Winkel gegen die Drehungsebene geneigt sind. Dieser Winkel wird durch die Richtung des Lineals gegen die Linie bezeichnet, mit welcher die Achse parallel gestellt wurde. Aus diesen Linien läfst sich leicht der Werth der einzelnen Umdrehung des Flügels herleiten. Wenn nämlich das Instrument in Thätigkeit ist, so schrauben die Flügel sich gleichsam durch das Wasser hindurch, und vorausgesetzt, dafs die Reibung keinen merklichen Einfluſs äufsert, so ist die gesuchte Länge nichts andres, als die Weite oder die Höhe des auf solche Art sich darstellenden Schraubenganges, und man findet diese, wenn man den Umfang der Schraube mit der Tangente des bereits gemessenen Neigungswinkels multiplicirt. Dabei tritt der Zweifel ein, wie grofs man den Radius des Flügels annehmen soll, um den gesuchten Umfang zu ermitteln. Strenge genommen wird er etwas gröfser sein, als der Abstand des Mittelpunktes der Flügelfläche von der Drehungsachse, der Unter-

schied ist indessen so unbedeutend, dafs man ohne Nachtheil hiervon absehn kann und man wird sich durch Versuche in stehendem Wasser leicht überzeugen, dafs das auf solche Weise berechnete Resultat mit dem der Beobachtung so genau übereinstimmt, wie die Schärfe der Messung überhaupt ein Urtheil gestattet. Es ist hiernach leicht, einen Flügel so einzurichten, dafs seine Umdrehungen einen gewissen vorher bestimmten Werth haben. Bei dem in Fig. 77 *a* und *b* dargestellten Instrument dreht sich die Flügelwelle genau einmal um, wenn 9 Zoll Wasser vorbeifliefsen, und hierdurch vereinfacht sich die Rechnung, die man nach jeder Beobachtung vornehmen mufs.

Wenn das Instrument in heftiger Strömung benutzt wird, so läfst es sich nicht immer vermeiden, dafs es zuweilen stark erschüttert wird, und selbst der Druck des Wassers stellt schon bei einer Geschwindigkeit von etwa 7 Fufs in der Secunde die Festigkeit aller Theile auf die Probe. Man mufs daher darauf achten, dafs die ganze Zusammensetzung möglichst solide und fest sei. Stählerne Achsen sind in sofern nicht passend, als sie leicht rosten, und es empfiehlt sich daher, den Flügel ganz aus Messing zusammenzusetzen. Die Reibung zwischen der Schraube und dem Rade kann sehr grofs werden, wenn man letzteres scharf dagegen drückt, wobei auch leicht ein Verbiegen der Theile eintritt. Um dieses zu vermeiden, mufs die Einrichtung getroffen sein, dafs der Rahmen, welcher das Rad trägt, sich nur bis zu einer gewissen Höhe heben läfst, und hierzu dient ein kleiner durch zwei Schrauben befestigter Steg, der in passender Länge einen Schlitz offen läfst, in welchen der hintere Theil jenes Rahmens eingreift.

Die Befestigung des Flügels geschieht auf verschiedene Weise, häufig an einer Latte, die an einem eingerammten Pfahle oder in einem dazu vorgerichteten Baume zur Seite des Schiffes herabgeschoben werden kann. In beiden Fällen mufs man dafür Sorge tragen, dafs die Achse der Flügelwelle immer genau dem Strome entgegengekehrt sei. Man hat dafür zuweilen auch durch die in Fig. 77 *c* dargestellte Vorrichtung gesorgt, indem der ganze Flügel sich um eine verticale Achse frei drehn kann und eine hinreichend grofse Fahne am hintern Ende ihn immer dem Strome entgegenkehrt. Diese Anordnung ist indessen in sofern bedenklich, als man nicht weifs, in welcher Richtung man die Strömung gemessen hat. Werden die

Beobachtungen aber zur Ermittelung der Wassermenge angestellt, so müssen die Geschwindigkeiten normal gegen das Querprofil gemessen werden, und daher ist die feste Aufstellung des Flügels vorzuziehn. Das Instrument, welches die Figuren *a* und *b* darstellen, war so eingerichtet, dafs es sich an einen Spazierstock schrauben, oder bei gröfserer Tiefe an jede Latte mittelst zwei Holzschrauben befestigen liefs.

Bei diesem Instrument waren die Flügel an die Ruthen angelöthet, so dafs man ihre Neigung nicht verändern konnte, die Ruthen aber liefsen sich, wenn man die Schraube am Ende der Flügelwelle löste, abnehmen, und fanden ihren Platz im Deckel des kleinen Kästchen, wodurch die Gröfse desselben so sehr reducirt war, dafs man es bequem in der Tasche tragen konnte. In der Scheibe am vordern Ende der Achse, wogegen die beiden Ruthen sich lehnten, war ein Stift eingesetzt, der in entsprechende Löcher dieser Ruthen eingriff, und ihnen die erforderliche Stellung sicherte. Das erwähnte Instrument hatte eine grofse Festigkeit dadurch erhalten, dafs die Flügelwelle und das Rad, zur Seite der Blechscheibe gelegt waren, gegen welche alle einzelnen Theile festgeschraubt sind. Es wurde dadurch möglich, einen starken Riegel dicht unter der Welle hindurchgehn zu lassen.

Von grofser Wichtigkeit ist ferner die passende Form der Zähne. Man sieht oft hydrometrische Flügel, bei denen diese Form so gewählt ist, als ob das Rad in ein Getriebe eingreifen sollte, was durchaus unpassend ist, weil alsdann die Zähne leicht auf die Stirnen der Schraubengänge treffen und beim scharfen Anziehn des Fadens jede Bewegung verhindert, auch wohl das Instrument beschädigt wird. Man mufs um ein solches Zusammentreffen möglichst zu vermeiden, sowohl den Gang der Schraube als die Zähne des Rades scharf ausschneiden.

Endlich ist noch zu erwähnen, dafs man zuweilen, um die Dauer der Beobachtung auf längere Zeit auszudehnen, die Achse des gezahnten Rades noch mit einem zweiten Rade in Verbindung setzt, welches die Umgänge des erstern zählt. Diese Einrichtung ist besonders in Frankreich üblich, wobei sich aber die Reibung so vermehrt, dafs bei sehr kleinen Geschwindigkeiten der Flügel sich gar nicht dreht und bei etwas gröfsern seine Bewegung verzögert wird. Es geschieht alsdann dafs bei schneller Bewegung

durch denselben Weg er mehr Umdrehungen macht, als wenn man ihn nur langsam fortzieht. Jede Umdrehung hat also nach Maafsgabe der Geschwindigkeit verschiedene Bedeutung, und hierauf mufs bei den vorangehenden Proben Rücksicht genommen werden.

Die Anbringung des zweiten Rades ist aber auch ganz entbehrlich. Bei dem hier beschriebenen kleinen Flügel der sich bedeutend schneller bewegt, als dieses bei gröfsern Instrumenten zu geschehn pflegt, entspricht dennoch die einmalige Umdrehung des Rades einem Wasserfaden von 75 Fufs Länge. Wird also eine Geschwindigkeit von 7 Fufs gemessen, was doch nur selten der Fall ist, so dreht sich das Rad in 10,7 Secunden einmal um, und wenn diese Dauer des Versuches nicht für genügend angesehn wird, so ist sie gewifs zu einer vorläufigen Bestimmung der Geschwindigkeit ausreichend. Sobald diese aber näherungsweise bekannt ist, so kann man darüber nicht mehr in Zweifel sein, ob beim länger ausgedehnten Versuche das Rad sich zwei oder dreimal umgedreht hat. Sonach läfst sich ohne Schwierigkeit in den seltenen Fällen, wo es nöthig sein sollte, die Messung auf eine etwas längere Zeit ausdehnen. Es liegt indessen durchaus kein wesentlicher Vortheil darin, die Beobachtungszeit recht grofs anzunehmen. Der unvermeidliche Fehler in der Bestimmung der Zeit wegen des nicht momentanen Anziehens und Nachlassens des Fadens erhält freilich einen um so geringeren Einfluſs, je gröfser die Dauer der ganzen Beobachtungszeit ist, eben so auch, die Verstellung des Rades beim Eingreifen in die Schraube und in den festen Zahn, diese Unsicherheit ist indessen wohl immer geringer, als diejenige, welche von der ungleichmäfsigen Bewegung des Wassers herrührt. Dazu kommt auch noch, dafs man eben so wenig mit diesem, wie mit irgend einem andern Instrument die Geschwindigkeit unmittelbar über dem Grunde messen kann, wo gemeinhin schon Sand und feinerer Kies in heftiger Bewegung sind.

Unter denjenigen Instrumenten, welche nicht unmittelbar die Geschwindigkeit des Wassers, sondern den Stofs messen, den dasselbe auf gewisse Flächen ausübt, ist zuerst die von Michelotti angegebene hydraulische Schnellwage zu erwähnen. Die Zeichnung in Fig. 78 erklärt ihre Einrichtung und ihren Gebrauch hinreichend, und es bleibt dabei nur zu erwähnen, dafs das kleine verschiebbare Gewicht auf dem längern horizontalen Hebelsarme durch seinen Abstand von der Drehungsachse den Stofs des Was-

sers mifst. Ebensowenig darf in eine nähere Beschreibung der von Ximenes benutzten Wasserfahne Fig. 79 eingegangen werden. Dieselbe würde im stehenden Wasser vermöge des angehängten Gewichtes sich zugleich mit dem Zeiger links drehn, sobald sie aber von dieser Seite durch den Strom getroffen wird, so wird sie zurückgedrängt, und bleibt an derjenigen Stelle stehn, wo der Druck des Wassers gegen die schräge Fläche dem Zuge des Gewichtes gleich ist. Beide Instrumente geben bei verschiedenen Strömungen die stärkere zu erkennen, und wenn man mit ihnen Probeversuche bei bekannten Geschwindigkeiten angestellt, und dadurch auf empirischem Wege die Bedeutung verschiedener Ablesungen ermittelt hat, so läfst sich auch umgekehrt aus diesen Ablesungen die Geschwindigkeit des Stromes bestimmen.

Der Stromquadrant, den Fig. 80 zeigt, wurde in früherer Zeit häufiger, als die beiden vorerwähnten Instrumente benutzt. In dem Mittelpunkte des Quadranten ist ein Faden befestigt, der an seinem Ende eine Kugel trägt, die in das Wasser taucht und den Stofs desselben aufnimmt, wodurch sie seitwärts gedrängt wird. Ein zweites Loth, welches jedoch nicht das Wasser berührt, dient zur gehörigen Aufstellung des Apparates. Nimmt man an, wie gewöhnlich geschieht, dafs der Stofs dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional sei, so findet man, dafs diese Geschwindigkeit wieder der Quadratwurzel aus der Tangente des Winkels, den der Faden mit dem Lothe bildet, proportional sein mufs. Unter dieser Voraussetzung darf man nur eine Beobachtung anstellen, um den constanten Factor zu finden, und wenn dieser bekannt ist, so läfst sich leicht aus jeder beobachteten Neigung des Fadens die zugehörige Geschwindigkeit berechnen. Eytelwein hat durch mehrere Beobachtungen nachgewiesen *), dafs für kleinere Geschwindigkeiten die Versuche ziemlich genau mit der Rechnung übereinstimmen, damit aber die Neigung des Fadens gegen das Loth nicht zu grofs wird, empfiehlt er bei gröfseren Geschwindigkeiten hohle Metallkugeln zu benutzen, deren Gewicht etwa viermal so grofs, als das des verdrängten Wassers ist, während bei kleinern Geschwindigkeiten Elfenbeinkugeln gebraucht werden sollen.

---

*) Sammlung nützlicher Aufsätze und Nachrichten die Baukunst betreffend. 1799. II. Seite 53 ff.

Wenn man mittelst dieses Instrumentes die Geschwindigkeiten in einiger Tiefe unter der Oberfläche messen will, so stellt sich der Uebelstand ein, dafs der Faden durch das dagegen stofsende Wasser gekrümmt wird, wie in der Figur angedeutet ist, und in diesem Falle liest man den Neigungswinkel des Fadens gröfser ab, als er sein würde, wenn die Kugel an einer steifen Linie befestigt wäre. Die Krümmung des Fadens nimmt aber für gröfsere Tiefen zu, man gelangt daher durch diese Beobachtungen zu dem Resultate, dafs die Geschwindigkeit des Wassers mit der Tiefe zunimmt. In der That haben die Messungen mit dem Stromquadranten dazu beigetragen, diese irrige Ansicht, welche namentlich von den ältern Italienischen Gelehrten aufgestellt war, zu bestätigen.

Ich komme nunmehr zur Beschreibung eines Instrumentes, welches sehr häufig angewendet ist, und in Frankreich auch noch vielfältig benutzt wird. Dieses ist die Pitotsche Röhre, die namentlich in ihrer ursprünglichen Gestalt so einfach war, wie kein andrer Apparat zum Messen der Geschwindigkeit. Fig. 81 *a* auf Taf. XI. zeigt die Anordnung, welche Pitot wählte *), als er die Geschwindigkeit des Stromes unter einer Brücke beobachten wollte. Die Schwimmer, die er sonst benutzt hatte, waren hier nicht brauchbar, indem sie nur ein Resultat gaben, wenn sie einen gewissen Weg zurücklegten, während im vorliegenden Falle die Messung an einer bestimmten Stelle geschehn mufste. Eine Glasröhre, an beiden Enden offen, und unten im rechten Winkel gebogen, bildete den ganzen Apparat. Dieses umgebogene Ende wurde dem Strome entgegengekehrt, während der längere Schenkel senkrecht gestellt war. Der Druck des strömenden Wassers erhob das Wasser in der Röhre und die Differenz des Wasserspiegels in derselben gegen den äufsern bezeichnete die Stärke der Strömung. Läfst man alle Nebenumstände unberücksichtigt, so ist die Theorie dieses Instrumentes höchst einfach. Die Erhebung des Wasserspiegels in der Röhre über das äufsere Wasser würde, wenn die Strömung nicht stattfände, sogleich ein Ausfliefsen des Wassers veranlassen und zwar würde dieses mit derselben Geschwindigkeit erfolgen, welche ein Körper beim freien Herabfallen von derjenigen Höhe erlangt, welche der erwähnten Nieveaudifferenz gleich ist. Diese Geschwindigkeit wird aber im

*) *Mémoires de l'Academie.* 1732.

vorliegenden Falle durch die eben so grofse Geschwindigkeit des in horizontaler Richtung dagegen strömenden Wassers aufgehoben. Das Wasser steigt also in der Pitotschen Röhre zu derjenigen Höhe über das äufsere Wasser, welche als Fallhöhe der Geschwindigkeit des Stroms entspricht. Hiernach würden z. B. die Geschwindigkeiten der Strömung von 1, 2, 3 und 4 Fufs sich durch eine Erhebung des Wasserstandes in der Röhre von 2,3 . . . 9,2 . . . 20,7 und 36,8 Linien zu kennen geben.

Auf die Sicherheit der Beobachtung haben jedoch manche fremdartige Umstände Einfluſs, und aufserdem ist die Ablesung, insofern sie unmittelbar über dem Wasserspiegel des Stroms stattfinden mufs, höchst unbequem, namentlich da die Gröfsen, welche man messen soll, bei geringen Geschwindigkeiten sehr unbedeutend bleiben und kaum wahrzunehmen sind. Der Einfluſs der Capillar-Attraction der Röhre läfst sich in stehendem Wasser leicht ermitteln, und sonach für jede Beobachtung in Abzug stellen, wobei aber auf die etwa stattfindende Verschiedenheit der Weite der Röhre Rücksicht genommen werden mufs. Wichtiger sind andre Umstände, welche eine verschiedene Erhebung des Wasserspiegels in der Röhre bedingen, und welche in der Richtung des vorbeiströmenden Wassers, sowie auch vielleicht in manchen Hindernissen der Bewegung ihren Grund haben. Dubuat verband die Glasröhre mit einem Gefäfse, dessen breite Seite mit einer grofsen Anzahl von Oeffnungen versehn war *), wie Fig. 81. *b* zeigt. Diese Seite wurde dem Strome entgegengekehrt, und jenachdem die verschiedenen Oeffnungen geschlossen oder frei waren, erhob sich das Wasser zu verschiedenen Höhen in der Röhre. Im Allgemeinen stellte sich das Gesetz heraus, dafs die Oeffnungen in der Nähe des Randes den Wasserstand in der Röhre verminderten, und dagegen die mittlern Oeffnungen ihn erhoben. Wenn alle Oeffnungen frei waren, erhob sich das Wasser auf 2 Zoll 7½ Linien. Am tiefsten sank es, wenn die unterste Oeffnung in der Mitte allein offen blieb, seine Erhebung betrug alsdann nur noch 2 Zoll 3 Linien. Es erreichte aber den höchsten Stand, nämlich von 3 Zoll 5 Linien, wenn alle Oeffnungen mit Ausnahme der mittlern geschlossen wurden. Dubuat gelangt durch diese und einige ähnliche Versuche zu dem Resultat,

*) *Principes d'hydraulique* II. pag. 443 ff.

dafs man, um eine recht starke Erhebung des Wasserspiegels einzuführen, den untern Schenkel der Röhre konisch erweitern und mit einer Platte schliefsen mufs, welche in ihrer Mitte mit einer feinen Oeffnung versehn ist. In diesem Falle erreicht der Wasserstand in der Röhre nach Dubuats Untersuchung nicht nur die Höhe, welche der Geschwindigkeit entspricht, sondern übertrifft dieselbe noch um die Hälfte. Darauf gründet er die Regel, dafs man von der beobachteten Höhendifferenz zuerst den dritten Theil abziehn, und den Rest als Fallhöhe ansehn soll, woraus die Geschwindigkeit zu berechnen ist. Die erwähnte Aenderung des Apparates gewährt noch den Nutzen, dafs das Wasser in der Röhre nicht stark schwankt, sondern ziemlich unverändert seinen Stand behält.

Fig. 81 *c* zeigt endlich die Röhre, wie Mallet sie vorrichtete, und wie sie auch gegenwärtig gewöhnlich in Frankreich noch benutzt wird. *) Eine blecherne Röhre von 5 bis 6 Fufs Länge und 2 Zoll Weite ist am untern Ende unter einem rechten Winkel gebogen und läuft hier konisch aus, so dafs die Oeffnung etwa $\frac{1}{2}$ Linie im Durchmesser hält. In der Röhre befindet sich ein Schwimmer, dessen Stiel mit einer Eintheilung versehn ist, welche eine bequeme Ablesung in angemessner Höhe gestattet. Man taucht die Röhre bis zu derjenigen Tiefe, in welcher man die Geschwindigkeit messen will, senkrecht ein, und indem es darauf ankommt, dafs der untere Schenkel genau gegen den Strom gekehrt sei, in welchem Falle gerade das Wasser in der Röhre am höchsten steigt, so dreht man sie langsam und beobachtet dabei den Stand des Schwimmers. Das Maximum seiner Höhe ist die gesuchte Gröfse. Damit man aber eine noch stärkere Höhendifferenz erhält, und zugleich der Mühe überhoben wird, die Höhe des äufsern Wasserstandes zu messen, so wird nunmehr der kurze Schenkel stromabwärts gekehrt und wieder durch langsame Drehung das Minimum der Höhe des Schwimmers gemessen, wobei man jedoch sorgsam darauf achten mufs, dafs die Röhre weder gehoben noch gesenkt wird. Bei der letzten Stellung des Apparates sinkt das Wasser in der Röhre eben so tief unter den äufsern Wasserspiegel, als es früher darüber stand. Die Differenz zwischen dem gefundenen Maximum und Minimum ist

*) *Genieys, essai sur les moyens de conduire, d'élever et de distribuer les eaux.* Paris 1829, pag. 72.

also doppelt so grofs, als die Erhebung des Niveaus in der Röhre sonst zu sein pflegt. Der Einfluſs der Capillar-Attraction wird bei dieser Beobachtungsart ganz beseitigt. Ein allgemein gültiger Coefficient zur Reduction der beobachteten Höhe auf die der Geschwindigkeit entsprechende Fallhöhe läſst sich indessen nicht darstellen, wie Dubuat dieses vermuthete, und sonach ist es nothwendig, für jedes Instrument dieser Art den Coefficient durch besondere Versuche zu ermitteln.

Sehr wichtig ist noch das Tachometer, oder derjenige Apparat, dessen sich Brünings zur Bestimmung der Wassermengen des Rheins und der verschiedenen Abzweigungen desselben in den Niederlanden vielfach bediente. Fig. 82 stellt es dar. *) Es ist wesentlich nichts Andres, als die hydrometrische Schnellwage, und hat vor den meisten der erwähnten Instrumente den wichtigen Vorzug, daſs man die Geschwindigkeiten in verschiedenen Tiefen derselben Perpendiculäre unmittelbar nach einander messen kann, ohne daſs man es, wie sonst nothwendig ist, jedesmal herausnehmen muſs, um die Ablesung zu bewirken. Eine kupferne quadratische Scheibe von 6 Zoll Seite empfängt den Stoſs des Wassers. Ein gleichfalls kupferner Stiel derselben von quadratischem Querschnitt wird durch zwei Stege so gehalten, daſs er sich nach Maaſsgabe des Druckes vor- oder zurückschiebt. Am hintern Ende ist dieser Stiel mit einem aufwärts gekehrten Arme versehn und von hier geht eine Leine über eine Rolle bis zum obern Theile des Apparates, wo der Beobachter die Spannung der Leine, welche mit dem Druck des Wassers gegen die Scheibe übereinstimmt, an einer Schnellwage miſst. Will man die Geschwindigkeit in einer andern Tiefe messen, so dreht man die in der Figur angegebene Curbel. Diese ist mit einem Getriebe verbunden, welches in eine gezahnte eiserne Stange eingreift. Die letzte befindet sich in einer im Pfahle angebrachten Rinne und an ihrem untern Ende ist der kurze Arm befestigt, der die beiden erwähnten Stege trägt. Die letztern folgen zugleich mit der Scheibe, welche den Stoſs des Wassers aufnimmt, jedesmal

---

*) Verhandeling over de Snelheid van stroomend Water door Chr. Brünings. In den Abhandlungen der Holländischen Societät. Band 26. — Kröncke hat 1798 die Schrift ins Deutsche übersetzt, auch befindet sich in Woltmans Beiträgen Band III. ein sehr vollständiger Auszug aus derselben.

der Bewegung der Stange. Die Leine muſs dabei nach Maaſsgabe der gröſsern oder geringern Tiefe verlängert oder verkürzt werden. Nach den Resultaten, welche Woltman über diesen Apparat mittheilt, darf man seine Brauchbarkeit nicht bezweifeln.

Aus den an verschiedenen Stellen desselben Querprofils angestellten Geschwindigkeits-Messungen kann man die mittlere Geschwindigkeit und die ganze durchfliefsende Wassermenge berechnen. Man findet die erstere unmittelbar durch das arithmetische Mittel aus allen einzelnen Geschwindigkeiten, wenn die Beobachtungen gleichmäſsig über die Fläche des Profils vertheilt waren. Gewöhnlich ist dieses nicht der Fall, und man pflegt alsdann zunächst für jede einzelne Section, oder für jede Perpendiculäre, worin Messungen angestellt sind, die betreffende mittlere Geschwindigkeit zu suchen. Hierbei darf man nur dann das arithmetische Mittel nehmen, wenn die Beobachtungspunkte gleiche Abstände von einander haben, und sich über die ganze Länge des Perpendikels gleichmäſsig vertheilen. Findet dieses nicht statt, so muſs man auch die Höhe, welche zu jeder einzelnen Beobachtung gehört, berücksichtigen. Man theilt nämlich die ganze Länge der Perpendiculäre in so viel einzelne Theile, als Beobachtungen darin angestellt sind, und zwar wählt man die Eintheilung so, daſs die Beobachtungspunkte möglichst in die Mitte der zugehörigen Theile treffen. Alsdann ergiebt sich für jede einzelne Section die mittlere Geschwindigkeit, wenn man die Höhe jedes Theiles mit der gemessnen Geschwindigkeit multiplicirt, und die Summe dieser Producte durch die ganze Tiefe dividirt. Multiplicirt man ferner diese mittlere Geschwindigkeit mit der Fläche der Section, so erhält man die zugehörige Wassermenge, und die Summe aller ähnlichen Produkte aus den übrigen Sectionen giebt die ganze Wassermenge, welche das Profil durchfliefst.

Dabei ist ein Umstand nicht zu übersehn, dessen nachtheiliger Einfluſs sich keineswegs sicher beseitigen läſst. Ueber der Sohle des Flufsbettes pflegt nämlich soviel Sand zu treiben, daſs die beschriebenen Instrumente durch denselben meist ihre Beweglichkeit verlieren, und es ist sonach schwierig, in grofser Nähe des Bodens die Geschwindigkeit zu messen.

Wenn man das ganze Querprofil in gehörig grofsem Maaſsstabe aufgetragen und darin alle Punkte eingezeichnet hat, an welchen die

Geschwindigkeiten gemessen wurden, so kann man die gleichen Geschwindigkeiten, etwa von 3 zu 3 Zoll wachsend, mit einander durch Contouren verbinden, und aus den durch diese umschlossenen Flächen gleichfalls die ganze Wassermasse berechnen, welche, wenn man sie durch den Flächen-Inhalt des Profils dividirt, die mittlere Geschwindigkeit giebt.

Schliefslich erwähne ich noch eines Apparates, den ich benutzte, um die oft angeregte Frage zu entscheiden, ob die Geschwindigkeit in der Oberfläche des strömenden Wassers am gröfsten sei, oder in einiger Tiefe darunter. Eine grofse Anzahl von Messungen ergeben in der That das letztere, wie im folgenden Abschnitt näher mitgetheilt werden wird. Diese auffallende Erscheinung rührt jedoch wohl nur davon her, dafs die Beobachtungen auf einem vor Anker liegenden Boote angestellt wurden, welches die Wasserschichten, soweit es damit in Berührung kam, zurückhielt. Ich construirte daher einen frei treibenden Schwimmer, aus dessen Stellung sich vom Ufer aus erkennen liefs, ob die Geschwindigkeit in der Oberfläche oder in einiger Tiefe darunter, die grössere sei. Ein flaches Holz von 18 Zoll Länge war an seiner untern Seite mit zwei aus dünnen Brettchen bestehenden Kreuzen verbunden, die bei jeder Richtung des Schwimmers den Stofs des Wassers aufnehmen. Diese in der Mitte eingeschnittenen und aufrecht stehenden Brettchen waren 9 Zoll lang und 4 Zoll hoch. Das eine Kreuz reichte bis zur obern Fläche des Schwimmers herauf, es empfing daher den Stofs der obern Wasserschichten, das andere, an der entgegengesetzten Seite des Schwimmers befestigt, konnte beliebig bis zur Tiefe von 18 Zoll gesenkt werden. Auf die obere Fläche des Schwimmers, und zwar in die Mitte derselben, war endlich ein kurzer Arm schräge aufgestellt. Sobald dieser in der Richtung des Stromes geneigt war, so ergab sich die gröfsere Geschwindigkeit in der Oberfläche des Wassers, bei entgegengesetzter Neigung in der tiefern Schicht. Der ganze Apparat liefs sich leicht zerlegen und war daher bequem zu transportiren.

Bei den damit auf tiefem Wasser angestellten Versuchen nahm der Schwimmer gewöhnlich keine bestimmte Richtung an, blieb vielmehr in fortwährender Drehung. Dieses erklärt sich dadurch, dafs die Geschwindigkeiten in den beiden Höhen nicht sehr verschieden waren, also die innern Bewegungen des Wassers bald oben,

bald in der etwas tiefern Schicht einen stärkern Stofs veranlafsten. Bei mäfsigen Tiefen stellte sich jedoch die Geschwindigkeit nächst der Oberfläche augenscheinlich als die gröfsere heraus. In keinem Falle gab sich aber eine verminderte Geschwindigkeit der obern Schichten zu erkennen, und man darf daher die erwähnte, durch vielfache Messungen bestätigte Erfahrung nur als Folge der unpassenden Anordnungen der Versuche ansehn, und daraus nicht auf die Bewegung des Wassers im freien Strome schliefsen. In sehr schmalen Wasserläufen ist das Resultat freilich ein andres.

Vierter Abschnitt.

Bewegung des Wassers in Strömen.

§. 16.
Ursache der Bewegung.

Die Schwierigkeiten, welche sich bei Untersuchung der Bewegung des Wassers in Röhren zu erkennen gaben *), wiederholen sich, und vermehren sich sogar, wenn man die Bewegung des Wassers in Strombetten oder überhaupt in offnen Leitungen verfolgt. Im ersten Falle war der Querschnitt des durchfliefsenden Wassercylinders an jeder Stelle mit dem der Röhre übereinstimmend und folglich bekannt, hatte die Röhre überall gleiche Weite, so stellte sich sogar auf die ganze Länge der Röhre eine gleich grofse mittlere Geschwindigkeit dar. Ueberdiefs vereinfachten sich die Verhältnisse dadurch, dafs die regelmäfsige Form der Röhre und ihre vollständige Anfüllung mit Wasser den Widerstand gleichmäfsig auf den ganzen Umfang vertheilte, so dafs die obere Decke in derselben Art einwirkte, wie die Sohle der Röhre.

In offnen Wasserleitungen bildet sich eine freie Oberfläche, d. h. das Wasser füllt die Leitung an jeder einzelnen Stelle bis zu einer solchen Höhe an, wo der Druck, wie er sich auf das Piezometer zu erkennen geben würde, gleich Null ist. Dieses findet nach dem Bernouillischen Lehrsatze **) in dem Falle statt, wenn die Geschwindigkeit des Wassers der Druckhöhe entspricht. Die Druckhöhe wird gemessen durch die Differenz des Wasserspiegels an der

---

*) Die im ersten Theile dieses Handbuches, Band I. p. 180 bis 188 erwähnte Untersuchung über die Bewegung des Wassers in cylindrischen Röhren ist in den Abhandlungen der Berliner Academie für 1870 ausführlich mitgetheilt.

**) Theil I. dieses Handbuches §. 16.

untersuchten Stelle, gegen irgend eine andre oberhalb belegene, von welcher man annimmt, dafs sie den Druck verursacht.

Zur Vermeidung von Mifsverständnissen müssen hierbei manche Umstände näher erklärt werden. Dahin gehört zunächst, dafs man den Widerstand, den das Wasser bei seiner Bewegung erfährt, nicht unberücksichtigt lassen darf. Wollte man von demselben absehn, so würde man zu dem Resultat gelangen, dafs die Geschwindigkeit in demselben Verhältnifs, wie die Quadratwurzel aus der Niveaudifferenz gegen das Speisebassin fortwährend zunehmen müsse, wie Galiläi dieses wirklich ausgesprochen hat. Der Widerstand consumirt indessen fortwährend wenigstens einen Theil der Beschleunigung, welche dem Wasser als einem schweren Körper beim Herabfallen ertheilt wird. Gewöhnlich wird letztere ganz aufgehoben und zuweilen genügt sie noch nicht zur Darstellung derjenigen lebendigen Kraft, welche zur Ueberwindung der Widerstände erforderlich ist, alsdann wird hierzu noch ein Theil der Geschwindigkeit, womit das Wasser ankommt, verwendet, oder der Strom fliefst langsamer, als er oberhalb flofs. Dieser Fall ereignet sich jedesmal unterhalb der sogenannten Stromschnellen oder derjenigen Stellen, wo die Geschwindigkeit besonders grofs ist, und wo eben diese grofse Geschwindigkeit bei Ueberwindung der Widerstände einen ungewöhnlichen Verlust an lebendiger Kraft verursacht. Die der Geschwindigkeit entsprechende Druckhöhe oder die sogenannte Geschwindigkeitshöhe ist daher für eine gewisse Stelle B im Strome gleich der Summe aus der Druckhöhe, welche der Geschwindigkeit an einer andern oberhalb belegenen Stelle A entspricht, und aus der Niveaudifferenz zwischen A und B nach Abzug derjenigen Druckhöhe, welche zur Ueberwindung der Widerstände auf dieser letzten Stromstrecke consumirt wird Wenn die Beschleunigung, welche aus der erwähnten Niveaudifferenz entspringt, vollständig durch die Widerstände vernichtet wird, so bleibt die Geschwindigkeit in B eben so grofs, wie sie in A war, und man nennt in diesem Falle die Bewegung des Wassers gleichförmig.

Bei der gleichförmigen Bewegung entspricht die Niveaudifferenz zwischen beiden Stellen A und B, welche das Maafs der lebendigen Kraft angiebt, den Widerständen auf der zwischenliegenden Stromstrecke, und wenn das Bette eine regelmäfsige Form hat, so kann man annehmen, dafs die Widerstände auf die ganze Länge gleich-

mäfsig vertheilt sind. Hieraus folgt, dafs in diesem Falle auch die Niveaudifferenzen den Längen des Stromlaufes proportional sind, oder dafs für die ganze Strecke, wo die gleichförmige Bewegung stattfindet, das relative Gefälle constant ist. Der Abstand des oberhalb belegenen Profiles *A*, von welchem aus die Druckhöhe gemessen wurde, ist sonach gleichgültig, und es kommt nicht mehr auf das absolute, sondern nur auf das relative Gefälle des Stromes an.

In einer Röhrenleitung findet die unmittelbare Uebertragung des Druckes aus dem Speisebassin auf grofse Entfernungen und gewöhnlich auf die ganze Länge der Leitung statt, und giebt sich oft sehr auffallend zu erkennen. So werden springende Strahlen durch den unmittelbar übertragenen Druck hervorgebracht, und verlieren wenig an Höhe, wenn das Speisebassin auch weit abliegt. Die freie Oberfläche der offnen Leitungen veranlafst dagegen, dafs jede einzelne Stelle, welche man als Speisebassin ansehn will, den Druck nicht mehr durch die nächste Stelle der Leitung fortsetzt, sondern schon hier das Wasser so hoch hebt, dafs der durch das Piezometer zu messende Druck in der freien Oberfläche gleich Null ist. In dieser Weise ist der Druck, der in jedem Profile stattfindet, nur durch die Niveaudifferenz gegen das nächst vorhergehende gegeben, oder da man diese unendlich kleinen Gröfsen nicht mehr absolut, sondern nur vergleichungsweise messen kann, so wird er wieder durch das relative Gefälle bezeichnet.

Betrachtet man zwei Querschnitte in einem Strome, die so nahe neben einander liegen, dafs sich noch eine unmittelbare Uebertragung des Drucks zwischen denselben denken läfst, so ist es zunächst klar, dafs dieser Druck gegen den zweiten Querschnitt sich nicht nur in der Oberfläche darstellen wird, sondern dafs er auch in jeder beliebigen Tiefe derselbe bleiben mufs, weil die Niveaudifferenz zwischen je zwei Wassersäulen, die von der einen oder der andern Seite gegen jeden tiefer liegenden Punkt drücken, gleich grofs ist. Wenn also in beiden Querschnitten die Wasserspiegel horizontale Linien bilden, so üben sie in ihrer ganzen Ausdehnung auf gleiche Flächen, z. B. von 1 Quadratfufs Gröfse, einen gleichen Druck gegen einander aus. Dieser Druck entspricht entweder den Widerständen, alsdann bleibt die Geschwindigkeit unverändert und die Bewegung ist gleichförmig, oder wenn er gröfser oder kleiner ist, als die Wider-

stände, so veranlafst er eine vermehrte oder verminderte Geschwindigkeit, oder aber er hebt oder senkt den Wasserspiegel im untern Profile so weit, dafs dadurch die Ausgleichung erfolgt.

Unter diesen Verhältnissen findet auch bei offnen Leitungen und Strömen der Bernouillische Satz Anwendung. Er bedingt eine gewisse Beziehung zwischen der Beschleunigung und der Erhebung des Wasserspiegels oder dem Gefälle. Die Widerstände, welche indessen hierbei von Einfluſs sind, und welche die Beschleunigung und die frühere Geschwindigkeit des Wassers aufheben, stellen sich so complicirt dar und sind ihrer Natur nach bis jetzt noch so wenig bekannt, dafs es unmöglich ist, ihre Wirkungen speciell zu verfolgen oder dieselben a priori anzugeben.

Dafs die Gestaltung des Strombettes den wesentlichsten Einfluſs auf die Bewegung des Wassers ausübt, ist an sich klar, man darf aber nicht annehmen, dafs das Gefälle des Stroms, also das Gefälle im Wasserspiegel, dem Abhange der Sohle überall entsprechen sollte. In der ganzen Länge des Stromlaufes ist dieses zwar sehr nahe der Fall, auf einzelnen Strecken zeigen sich aber häufig grofse Verschiedenheiten und die Sohle des Strombettes liegt oft ganz horizontal, oder steigt wohl gar in der Richtung der Strömung an, während der Wasserspiegel in dieser Richtung geneigt sein mufs, weil sonst die Strömung zugleich mit dem Drucke aufhören würde. Nur in Folge sehr heftiger Wasserstürze bilden sich zuweilen unmittelbar unter denselben einzelne stehende Wellen, in denen das Gefälle negativ wird. Wenn dagegen durch die Einwirkung der Fluth oder in Folge heftiger Stürme vor den Ausmündungen der Ströme der Wasserspiegel der See gehoben wird, und auf diese Art das Gefälle stromaufwärts geneigt ist, so bildet sich auch eine entgegengesetzte Strömung, und der Strom fliefst in diesem Falle wieder dem Abhange des Wasserspiegels entsprechend. Dieses Zurückströmen erfolgt soweit stromaufwärts, als das Gefälle umgekehrt ist. Wo der Wasserspiegel horizontal liegt, hört die Strömung auf und oberhalb dieser Stelle ist das Gefälle und zugleich der Strom nach der See gekehrt.

Wenn das Strombette an einer Stelle stark geneigt ist, weiter unterhalb aber wieder ansteigt, so kann das Wasser nicht früher abfliefsen, als bis es den Rücken an der letzten Stelle erreicht hat, es mufs also unabhängig von der Neigung des Bettes und von der

Geschwindigkeit, womit es ankommt, sich so lange in der Vertiefung ansammeln, bis es über jene Höhe überfliefsen kann. Hierbei ereignet es sich gewöhnlich, dafs diese Vertiefung auch nach der Breite weit ausgedehnt ist, wodurch sich ein See bildet. Beim Durchgange durch Seen verliert der Strom seine Geschwindigkeit beinahe ganz. Die mittlere Geschwindigkeit ist umgekehrt der Gröfse des Profils proportional, wenn daher das Querprofil des Sees im Vergleich zu dem des Stromes unverhältnifsmäfsig grofs ist, so wird die Geschwindigkeit zugleich mit dem Gefälle unmerklich klein. Eine solche Verminderung der Geschwindigkeit beim Eintritt des Stromes in den See, oder überhaupt in ein weiteres Bette, ist jedesmal mit einem Verlust an lebendiger Kraft verbunden. Dieser Verlust wird alsdann aber keineswegs allein durch den Widerstand veranlafst, welchen die Seitenwände und die Sohle des Bettes verursachen, denn diese würden nicht genügen, um die mittlere Geschwindigkeit, soweit es hier erforderlich ist, zu mäfsigen, es müssen daher noch andre Umstände eintreten, die diesen Erfolg herbeiführen, und als solche kann man nur die innern Bewegungen ansehn, die im Wasser selbst vorkommen und die sich oft sehr auffallend zeigen.

Die einzelnen Wassertheilchen haften aneinander, oder es findet zwischen ihnen eine gewisse Cohäsion statt. Haben daher zwei benachbarte Wasserfäden verschiedene Geschwindigkeiten, oder stimmen die Richtungen ihrer Bewegung nicht überein, so üben sie gegenseitig einen auffallenden Einfluſs auf einander aus, und es tritt ein gewisser Uebergang ein, der neue Bewegungen und namentlich Wirbel veranlafst. Diese sind um so heftiger, je gröfser die Differenz der mittlern Geschwindigkeit in dem ober- und unterhalb belegenen Profile ist. Im Unterwasser der Freiarchen und der natürlichen Wasserfälle, wo sich gemeinhin eine grofse Verbreitung und Vertiefung des Bettes in Folge des heftigen Wassersturzes gebildet hat, zeigen sich diese Wirbel besonders auffallend. Sie geben sich indessen bei jedem strömenden Wasser zu erkennen, und die Ursache ihrer Entstehung mufs man darin suchen, dafs niemals eine ganz gleichmäfsige Bewegung im Wasser stattfindet und vielmehr in jedem Profile verschiedenartige Geschwindigkeiten, wie auch verschiedene Richtungen der Bewegung vorkommen. Die Widerstände, welche die Beschleunigung aufheben und das Wasser nicht diejenige

Geschwindigkeit annehmen lassen, die ihm in Folge seines Falles nach den Gesetzen der Mechanik zukommt, darf man daher keineswegs ausschliefslich in einer gewissen Einwirkung des Flufsbettes suchen, die man sich als Reibung denkt, sondern aufserdem zerstört sich die lebendige Kraft auch im Innern des Stroms durch die hier stattfindenden Bewegungen, die immer aufs Neue entstehn und sich unaufhörlich gegenseitig vernichten. Einen sichern Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht giebt die schon erwähnte Erscheinung, dafs grofse mit dem Strome schwimmende Massen, wie Schiffe, sich schneller als das Wasser bewegen. Das Gewicht des Schiffes stimmt mit demjenigen der Wassermasse überein, die es verdrängt, denkt man also, dafs nebeneinander ein Schiff und eine gleich schwere Wassermasse von derselben Form herabtreiben, so ist die Beschleunigung ebenso, wie der Widerstand, den beide erfahren, gleich, und dennoch eilt das Schiff dem Wasser voran. Im Schiffe wird aber die lebendige Kraft, die es beim Herabgleiten von der geneigten Ebene erhält, nicht durch innere Bewegungen, sondern nur durch den Widerstand, den das etwas langsamer fliefsende Wasser darauf ausübt, aufgehoben. Die Erfahrung zeigt auch, dafs gerade an den Stellen, wo diese innern Bewegungen am gröfsten werden, wie z. B. unterhalb einer Stromschnelle, der Unterschied der Geschwindigkeiten sich am auffallendsten darstellt, und das Schiff, obgleich es nur vom Strome getrieben wird, sich scharf und sicher steuern läfst.

Durch die innern Bewegungen wird die Geschwindigkeit, die das Wasser beim Herabstürzen aus einem höheren Niveau erhält, schnell zerstört, und man sieht bald unterhalb solcher Stellen das Wasser ruhig und sanft abfliefsen. Die Geschwindigkeit des Stroms ist daher von dem Gefälle der oberhalb belegenen Stellen nur in geringem Maafse abhängig, und wird vielmehr beinahe ausschliefslich durch das Gefälle bedingt, welches an derjenigen Stelle stattfindet, wo man gerade die Geschwindigkeit untersucht.

Es ergiebt sich hieraus, dafs die Wassermasse, welche gleichzeitig dasselbe Profil durchströmt, keineswegs gleichmäfsig und in paralleler Richtung sich bewegt. Besonders an den Stellen, wo das Strombette plötzlich seine Breite oder Tiefe verändert, stellen sich verschiedene Geschwindigkeiten und oft in entgegengesetzter Richtung ein. Vor dem Kopfe eines weit in den Strom reichen-

den Einbaues bildet sich eine heftige Strömung, an welcher die ihr zur Seite befindliche Wassermasse nicht weiter Theil nimmt, als dafs sie da, wo der Strom sie berührt, von demselben mit fortgerissen wird. Sie kann jedoch die stromabwärts gerichtete Bewegung nicht fortsetzen, da der Kopf der Buhne ihr den Weg sperrt, sie staut also, ihrer Geschwindigkeit entsprechend, vor demselben auf, und bildet hierdurch das nöthige Gefälle, um längs der obern Seite der Buhne nach dem Ufer, und an diesem so weit stromaufwärts zu fliefsen, bis sie aufs Neue von dem Strome gefafst wird. Auf diese Weise bilden sich vor, so wie aus gleichem Grunde auch hinter scharf vortretenden Werken oder natürlichen Uferecken weit ausgedehnte und zuweilen sehr heftige Wirbel, die man Widerströme oder Neeren nennt.

Wenn man, wie gewöhnlich, nur die mittlere Geschwindigkeit betrachtet, so fafst man dabei die Verhältnisse nicht vollständig auf. Nur wenn das Bette sehr regelmäfsig gestaltet ist, darf dieses geschehn, und auf diesen Fall beschränken sich fast ausschliefslich die bisherigen Untersuchungen über die Bewegung des Wassers in Strömen.

§. 17.

Mittlere Geschwindigkeit.

Die Versumpfungen, welche der Po mit seinen Nebenflüssen in der Nähe der Ausmündung in das Adriatische Meer verursachte, lenkte schon sehr frühe die Aufmerksamkeit der Italiänischen Gelehrten auf die Bewegung des Wassers in Strömen. Wie geringe indessen die Resultate dieser Untersuchungen in wissenschaftlicher Beziehung auch blieben, so bestätigen sie doch Lorgna's Aeufserung, dafs theoretische Speculationen zu keinen brauchbaren Resultaten führen, wenn man von unbegründeten und willkührlichen Voraussetzungen ausgeht, man müsse vielmehr zunächst durch Beobachtungen das Sachverhältnifs aufklären. Bei der spätern Behandlung desselben Gegenstandes hat man diesen letzten Weg in der That gewählt, und wenn auch die bis jetzt aufgefundenen Gesetze über die Bewegung des Wassers in Strömen noch nicht als

unbedingt sicher angesehen werden dürfen, so gewähren sie doch einigen Anhalt und stehn nicht mehr in directem Widerspruch mit den Erfahrungen.

Bei jenen ältern Untersuchungen kam es vielfach darauf an, die Wassermenge der Ströme kennen zu lernen. Hierzu war es nöthig, die Geschwindigkeiten zu ermitteln, und ein grofser Theil der oben (§. 15.) beschriebenen Instrumente wurde bei dieser Gelegenheit erfunden. Insofern dieselben indessen zum Theil nur an der Oberfläche benutzt werden konnten, und andrerseits solche Messungen sehr mühsam und zeitraubend waren, wenn man in jedem Profile an einer grofsen Anzahl von Punkten die Geschwindigkeit bestimmen wollte, so lag die Frage sehr nahe, ob die Geschwindigkeit durchweg dieselbe sei, oder nach welchem Gesetze sie von der Tiefe abhängt.

Castelli glaubte durch Versuche sich überzeugt zu haben, dafs beim Ausfluſs des Wassers aus Gefäfsen die Geschwindigkeit der ersten Potenz der Druckhöhe proportional sei. Offenbar beruhte dieses Resultat auf einem Irrthum, der dadurch noch vergröfsert wurde, dafs Castelli den Unterschied zwischen dem freien Ausfluſs des Wassers aus einem Gefäfse, und der Bewegung desselben im Strombette ganz unbeachtet liefs. Man kann ohne Zweifel jeden beliebig angenommenen Querschnitt im Strome als Seitenwand eines Gefäfses ansehn, aber das Wasser strömt durch diese imaginäre Scheidewand nicht frei aus, sondern es tritt in das nächst unterhalb befindliche Wasser, und erfährt von diesem einen Gegendruck, der für die tiefer liegenden Wasserfäden in derselben Art zunimmt, wie der Druck auf der stromaufwärts gekehrten Seite der Wand gröfser wird. Die Differenz beider ist sonach constant, oder von der Tiefe unabhängig, und bedingt allein denjenigen Druck, der eine Beschleunigung verursachen kann.

Es mag hier gleich bemerkt werden, dafs die verschiedenen Geschwindigkeiten, welche in derselben Perpendicular-Linie unter einander vorkommen, sich sehr deutlich graphisch darstellen lassen, wenn man sie als Ordinaten aufträgt, während die zugehörigen Tiefen die Abscissen bilden. Die durch die Endpunkte der ersteren gezogene Curve nennt man eine Geschwindigkeits-Scale.

Der von Castelli begangene Irrthum wurde lange Zeit hindurch nicht bemerkt und auf die Theorie übertragen. Nachdem Torricelli

gefunden hatte, dafs die Geschwindigkeit des aus einem Gefäfs ausfliefsenden Wassers eben so grofs sei, als wenn dieses von dem Wasserspiegel bis zur Ausflufsöffnung frei herabgefallen wäre, oder dafs die Geschwindigkeit des Strahles der Quadratwurzel aus der Druckhöhe proportional sei, so übertrug Guglielmini dieses Gesetz unmittelbar auf die Bewegung des Wassers in Strömen, und nahm hiernach an, dafs die Geschwindigkeit des Wassers von der Quelle des Stromes bis zum Meere, und an jeder einzelnen Stelle wieder von dem Wasserspiegel bis zum Boden der Wurzel, aus der ganzen Fallhöhe proportional sei.

Dafs die erste Voraussetzung unrichtig war, zeigte der Augenschein an jedem Flusse, Grandi meinte daher, dafs der Satz nur in Bezug auf die Zunahme der Geschwindigkeit von der Oberfläche bis zur Sohle Anwendung finden könne, indem die fortwährende Vergrößerung der Geschwindigkeit, welche dem ganzen Gefälle zukommt, durch vielfache Hindernisse aufgehoben wird. Hiernach müfsten an jeder beliebigen Stelle eines Stroms die Geschwindigkeiten in verschiedenen Tiefen sich wie die Quadratwurzeln aus diesen Tiefen verhalten, oder indem durch dieselbe Bedingung die Ordinaten einer Parabel gegeben werden, so sollte die Geschwindigkeits-Scale eine Parabel sei.

Nach dieser Ansicht müfste die Geschwindigkeit des Wassers in der Oberfläche gleich Null werden, was offenbar unrichtig ist. Grandi legte daher den Scheitel der Parabel in eine gröfsere Höhe, und zwar soweit über den Wasserspiegel, dafs die in denselben fallende Ordinate der hier gemessnen Geschwindigkeit gleich wurde. Insofern man hierbei von den Beobachtungen über den freien Ausflufs des Wassers aus Gefäfsen ausging, so war die Parabel für alle Fälle gegeben, nämlich ihr Parameter mufste immer $= 4 . g$ sein, und alle Geschwindigkeiten waren leicht zu berechnen, sobald man nur die Höhe des Scheitelpunktes kannte. Letztere ergab sich aber aus der an der Oberfläche gemessenen Geschwindigkeit.

Zendrini versuchte zuerst, aus Beobachtungen die Form der Geschwindigkeits-Curve herzuleiten, und bediente sich dabei des Strom-Quadranten. Dieses Instrument gab aber für gröfsere Tiefen wegen der stärkern Biegung des Fadens, wie schon oben erwähnt, eine zu grofse Geschwindigkeit an. Das Resultat der Untersuchung war daher mit allen frühern Hypothesen insofern übereinstimmend,

als die Zunahme der Geschwindigkeit in gröfsern Tiefen sich zu bestätigen schien, doch waren im Uebrigen die Abweichungen so grofs, dafs Zendrini schon Modificationen in jenes Gesetz einführte.

Frisi, der die verschiedenen vorerwähnten Theorien namhaft macht und seine Ansichten darüber ausspricht, erklärt sich zuletzt mit Grandi einverstanden, wiewohl er selbst manche Zweifel gegen dessen Auffassungen erhob. Hierbei mufs erwähnt werden, dafs die von Grandi vorausgesetzte Zunahme der Geschwindigkeiten in grössern Tiefen noch bei Anwendung eines andern Instrumentes eine auffallende Bestätigung fand. Ich habe dieses Instrumentes früher nicht erwähnt, weil es zur Ermittelung der Geschwindigkeiten, womit das Wasser in dem Strome sich bewegt, ganz unbrauchbar ist, und man nur in der Kindheit der Hydrotechnik den Einfall haben konnte, damit Geschwindigkeits-Messungen anzustellen. Es rührt von Nadi her, und wird die Nadische Flasche genannt. Es besteht aus einem Kasten von Blech, der an einer Seite mit einer Oeffnung versehn ist, durch welche das Wasser einströmt. Man kann diese Oeffnung durch Anziehn eines Drahtes schliefsen oder frei machen, wenn auch der Kasten bis zu ansehnlicher Tiefe versenkt ist. Aus dem Kasten, und zwar unmittelbar unter seiner Decke, erhebt sich eine Röhre bis über das Wasser, durch welche die Luft entweicht, und die zugleich die Handhabe bildet, woran man den Apparat bis zur beabsichtigten Tiefe versenkt. Die Messung wurde in folgender Art angestellt. Nachdem der Kasten versenkt war, gab man ihm solche Richtung, dafs die Einflufsöffnung, die Anfangs geschlossen war, dem Strome entgegengekehrt wurde. Sodann schob man mittelst des erwähnten Drahtes das Ventil von der Oeffnung fort und liefs während einer gewissen Zeit das Wasser einströmen. Diese Wassermenge wurde alsdann gemessen, und da man die Gröfse der Einflufs-Oeffnung kannte, so war die Geschwindigkeit der Einströmung leicht zu ermitteln. Es bedarf kaum der Erwähnung, dafs diese Geschwindigkeit vorzugsweise durch den Druck des äufsern Wassers, also durch die Tiefe der Einsenkung bedingt wurde. Die Gültigkeit der Schlufsfolge auf die Bewegung des Wassers im Strome wurde auch sogleich angefochten, und der Versuch, das Instrument in stehendes Wasser, oder bei strömendem Wasser in entgegengesetzter Richtung einzutauchen, so dafs die Oeffnung stromabwärts gekehrt war, zeigte bald durch die Uebereinstimmung

der Resultate in diesen verschiedenen Fällen, dafs die Geschwindigkeit der Strömung im Flusse ohne wahrnehmbaren Einflufs blieb.

Mariotte wies im Anfange des vergangenen Jahrhunderts durch Beobachtungen nach, dafs die Geschwindigkeit weit entfernt in grösserer Tiefe zuzunehmen, sich im Gegentheil von der Oberfläche nach der Sohle des Strombettes vermindert. Er kam zu diesem Resultat, welches durch alle spätern Messungen bestätigt ist, indem er zwei Wachskugeln in ähnlicher Weise, wie Fig. 73 *b* zeigt, mit einander verband und sie zusammen in einem Bache von 3 Fufs Tiefe treiben liefs. In die untere Wachskugel war ein Steinchen eingedrückt, welches ein hinreichendes Gewicht hatte, um diese Kugel zum Sinken zu bringen, sie wurde indessen durch die andre Kugel gehalten, mit der sie mittelst eines Fadens verbunden war. Der Bach, in welchem die Messung angestellt wurde, war so klar, dafs man auch die untere Kugel deutlich sehn konnte, und es zeigte sich hierbei, dafs die untere in den regelmäfsigen Strecken immer zurückblieb, und die obere ihr am weitesten voraneilte, sobald Gras oder andre weit vorragende Gegenstände den Widerstand am Boden vermehrten. Nur wenn eine plötzliche Verengung des Bettes eintrat und man ein Anschwellen der Oberfläche wahrnehmen konnte, wie bei engen Brücken, blieb die obere Kugel zurück und die untere eilte derselben vor. *)

Nachdem auf solche Weise ein ganz andres Sachverhältnifs nachgewiesen war, als man früher erwartet und wahrzunehmen geglaubt hatte, konnte die Hypothese der Zunahme des Drucks bei gröfserer Tiefe nicht länger als richtig gelten. Man sah es jetzt ein, dafs der Druck, welchen ein Querschnitt des Stromes gegen den nächst unterhalb liegenden ausübt, in allen Tiefen derselbe bleibt, dafs aber die geringere Geschwindigkeit in der Tiefe nur von der Einwirkung des Strombettes herrühren kann.

Pitot stellte mit seiner Röhre gleichfalls Geschwindigkeits-Messungen in verschiedenen Tiefen an, und kam dabei zu demselben Resultat, dafs nämlich nahe unter der Oberfläche die Geschwindigkeit am gröfsten ist, und von hier nach der Tiefe stätig abnimmt. Auch unter Brücken fand Pitot dieses Gesetz noch gültig, und konnte

---

*) *Mariotte traité du mouvement des eaux. Partie II. Discours* 3.

keine Abnahme der Geschwindigkeit an der Oberfläche bemerken, wie Mariotte gefunden hatte.

Als Dubuat seine wichtigen Beobachtungen über die Bewegung des Wassers anstellte und daraus die Grundsätze der Hydraulik herzuleiten versuchte, war es bereits unzweifelhafte Thatsache, dafs in einer offnen Wasserleitung oder in einem Strome die Geschwindigkeit in der Oberfläche selbst, oder dicht unter derselben am gröfsten, und unmittelbar über der Sohle am kleinsten ist. Hiernach mufs in jeder Perpendiculären sich eine Stelle befinden, worin die Geschwindigkeit dem arithmetischen Mittel aus allen, oder der mittleren Geschwindigkeit in dieser lothrechten Linie gleich ist. Dubuat bemühte sich, die Tiefe dieses Punktes zu bestimmen, und ging noch weiter, indem er sich die Aufgabe stellte, die Lage desjenigen Punktes in dem ganzen Querprofil anzugeben, worin die Geschwindigkeit mit der mittlern des Profiles übereinstimmt. Eine allgemein gültige und einfache Regel zur Auffindung dieses Punktes ist indessen nach dem, was oben über die wirklich vorkommenden verschiedenartigen Strömungen gesagt ist, nicht zu erwarten, und Dubuat gelangte auch zu keinem Resultat. Dagegen glaubte er eine gewisse Beziehung zwischen der Geschwindigkeit in der Oberfläche zu der mittlern und zu der am Boden stattfindenden gefunden zu haben *), welche von der Wassertiefe und vom Gefälle unabhängig ist, so dafs unter allen Umständen zu gleichen Geschwindigkeiten in der Oberfläche auch gleiche mittlere und gleiche Geschwindigkeiten am Boden gehören. Diese Beziehung giebt Dubuat in folgender Art an. Wenn u die Geschwindigkeit in der Oberfläche, u' die am Boden, und v die mittlere bezeichnet, so ist, wenn alle diese Gröfsen in Pariser Zollen ausgedrückt werden

$$\sqrt{u'} = \sqrt{u} - 1$$

$$\text{oder } u' = (\sqrt{u} - 1)^2$$

$$v = \frac{u + u'}{2}$$

$$= u - \sqrt{u} + 0{,}5$$

Dieses Resultat ergab sich aus acht und dreifsig Beobachtungen, die an kleinen künstlichen Canälen von 2 bis 10 Zoll Tiefe ange-

*) *Principes d'Hydraulique I.* §. 65 und 66.

stellt waren *). Dabei wurden die Geschwindigkeiten an der Oberfläche durch kleine Stückchen Holz, und die am Boden Anfangs durch Kügelchen aus Mastix gemessen, da diese aber nicht rund zu sein schienen und wegen ihrer matten Farbe in der Tiefe von etwa 9 Zoll sich nicht gehörig wahrnehmen liefsen, so benutzte Dubuat in den letztern Versuchen statt ihrer rothe Johannisbeeren. Endlich bestimmte er die mittlere Geschwindigkeit, indem er die in jeder Secunde abfliefsende Wassermenge durch den Querschnitt des Canals dividirte.

Woltman erklärte sich gegen die von Dubuat aufgestellte Hypothese, weil sie nur aus Beobachtungen abgeleitet, einer wissentschaftlichen Begründung entbehrte, aufserdem bezweifelte er, dafs die Strömung sich jederzeit bis zur Sohle des Bettes fortsetzt, und meinte, dafs sie bei grofsen Strömen in einer gewissen Tiefe aufhört. **) Dagegen hatte Woltman schon früher, ehe er die Hauptsätze aus dem Dubuat'schen Werke den deutschen Baumeistern bekannt machte, selbst eine andre Hypothese über die Abnahme der Geschwindigkeiten ausgesprochen. ***) Aus eilf Beobachtungsreihen, die Brünings im Niederrhein, und einer Beobachtungsreihe, die Ximenes im Arno angestellt hatte, zog er nämlich den Schlufs, dafs die Geschwindigkeits-Scale nicht eine gerade Linie, sondern eine krumme sei, und dafs „analoge Gründe", die er jedoch nicht näher bezeichnet, vermuthen lassen, dafs die Curve eine Parabel sei, deren Achse vertical und deren Scheitel in derjenigen Tiefe unter dem Wasserspiegel liegt, wo die Geschwindigkeit aufhört. Diese Annahme verglich er mit den erwähnten Beobachtungen, wobei sich indessen keine sonderliche Uebereinstimmung zu erkennen gab. Die Abweichungen zwischen den beobachteten und berechneten Geschwindigkeiten stellen sich sogar gröfser dar, als der Unterschied zwischen der Parabel und der geraden Linie. Der Scheitel der Parabel liegt aber 130 bis 160 Parameter unter dem Wasserspiegel wodurch die Krümmung der Linie sehr geringfügig ausfällt und man dieselbe wohl ohne Nachtheil als gerade Linie an-

---

*) *Principes d'Hydraulique II.* §. 384—389.

**) Beiträge zur hydraulischen Architectur, I. Band. S. 174.

***) Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels. Hamb. 1790.

sehn darf. Die von Woltman angestellte Berechnung derjenigen Tiefe, bis zu welcher nach seiner Ansicht eine Strömung, deren Geschwindigkeit in der Oberfläche gleich 12 Fufs ist, sich abwärts fortsetzen würde, läfst vermuthen, dafs Woltman der Ansicht war, es sei der Parameter und sonach die Parabel für alle Ströme dieselbe. Es ist indessen die ganze Hypothese nur als eine sehr unsichre Vermuthung mitgetheilt, und der Verfasser sagt selbst, dafs sie noch fernerer Bestätigung bedürfe.

Eytelwein empfiehlt, kein complicirtes Gesetz über die Abnahme der Geschwindigkeit aufzusuchen, so lange man nicht die Ursache der vielfachen Abweichungen, welche die Beobachtungen zeigen, genauer kennt. Er schlägt daher vor, die Geschwindigkeits-Scale als eine gerade Linie anzusehn, und findet durch Vergleichung verschiedener Messungen *), dafs die Geschwindigkeit durchschnittlich bei 1 Fufs Tiefe um 0,008 Fufs abnimmt. Wenn also t die ganze Tiefe und u die Geschwindigkeit an der Oberfläche bezeichnet, so soll die mittlere Geschwindigkeit

$$v = u\,(1 - 0{,}004\,.\,t)$$

sein, wobei alle Gröfsen in Rheinländischen Fufsen gemessen sind. Eine allgemeine Gültigkeit darf man von diesem Ausdrucke schon insofern nicht erwarten, als er bei sehr grofsen Tiefen offenbar zu unpassenden Resultaten führt. Für die Tiefe von 125 Fufs würde nämlich die Geschwindigkeit gleich Null, und für noch gröfsere Tiefen sogar negativ werden.

Prony **) macht darauf aufmerksam, dafs das von Dubuat angegebene Gesetz über die Abnahme der Geschwindigkeit augenscheinlich zu unrichtigen Resultaten führt, sobald die Strömung sehr schwach wird. Wenn nämlich die Geschwindigkeit an der Oberfläche 1 Zoll beträgt, so ist dieselbe am Boden gleich Null, für $u = 0{,}25$ Zoll sind beide einander gleich, wenn die erstere aber noch kleiner wird und endlich ganz aufhört, so vergröfsert sich die letzte wieder und erreicht endlich den Werth von 1 Zoll. Prony meint ferner, dafs

---

*) Dubuat's Grundlehren der Hydraulik, übersetzt von Kosmann, mit Zusätzen von Eytelwein. Berlin 1801. Seite 125 und Eytelwein's Handbuch der Mechanik und Hydraulik. Berlin 1801. S. 198.

**) *Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes, par R. Prony.* Paris 1804. Seite 73 ff.

es weniger darauf ankommt, die Geschwindigkeit in einer gewissen Tiefe zu bestimmen, es vielmehr immer die Aufgabe ist, die mittlere Geschwindigkeit aus der in der Oberfläche gemessenen zu finden. Zu diesem Zweck wählte er die Form

$$v = \frac{u + a}{u + b} \cdot u$$

und fand aus den von Dubuat angestellten Beobachtungen unter Zugrundelegung des Meter-Maafses

$$a = 2{,}372 \text{ und } b = 3{,}153$$

Wenn u und v in Rheinländischen Fufsen ausgedrückt werden, ist hiernach die mittlere Geschwindigkeit

$$v = \frac{7{,}302 + u}{9{,}706 + u} \cdot u$$

Bei dieser Rechnungsart stellen sich die zum Grunde gelegten Beobachtungen noch besser dar, als nach den von Dubuat angegebenen Methoden. Indem aber die Geschwindigkeiten an der Oberfläche, also u, in den meisten Fällen viel kleiner, als a und b sind, so haben auch verschiedene Werthe der letzten auf den Quotient nur geringen Einfluſs. Hiernach hielt es Prony für zulässig, sowol im Zähler, wie im Nenner für u einen bestimmten Werth einzuführen. Er wählte dafür 1 Meter oder 3,1 Fufs und erhielt hierdurch den sehr einfachen Ausdruck

$$v = 0{,}816 \cdot u$$

in welchem der constante Factor für alle Maafse derselbe bleibt. Auch hierdurch wird noch ein besserer Anschluſs an die zum Grunde liegenden Beobachtungen erreicht, als nach Dubuat's Formel. Beim Vergleiche mit verschiedenen mir vorliegenden Beobachtungsreihen zeigten sich jedoch bedeutende Abweichungen, auch gab sich überhaupt kein constantes Verhältniſs zwischen der an der Oberfläche gemessenen und der mittlern Geschwindigkeit zu erkennen.

Der Vollständigkeit wegen müssen noch zwei andre Hypothesen über die Abnahme der Geschwindigkeiten in gröſsern Tiefen mitgetheilt werden, die wenn sie auch noch weniger, als die bisher erwähnten begründet sind, dennoch als unumstöſsliche Wahrheiten aufgestellt wurden, und von denen die zweite, die aus Amerika zu uns herüberkam, sogleich unter den deutschen Ingenieuren viele gläubigen Anhänger fand. Beide sollen durch zahlreiche Beobachtungen bestätigt sein.

Die erste, die heutiges Tages wohl bereits vergessen ist, rührt von Funk *) her, der durch ausgedehnte Rechnung nachzuweisen sich bemühte, dafs die Geschwindigkeits-Scale eine logarithmische Linie sei. Er selbst spricht die Ueberzeugung aus, dafs dieses Gesetz „aufs Befriedigendste“ mit der Erfahrung übereinstimmt. Bei allen Beobachtungsreihen, die er aber verglichen hat, oder die er nur mittheilt, und deren Berechnung er dem Leser überläfst, fällt die logarithmische Linie so nahe mit der geraden zusammen, dafs der Unterschied zwischen beiden im Allgemeinen kaum den fünfzigsten Theil der Abweichungen der Beobachtungen von der logarithmischen Linie beträgt. Wenn man aber auch die vielfachen Rechnungsfehler des Verfassers corrigirt, und selbst wenn man methodisch den Anschlufs versucht, so ist ein solcher nicht entfernt darzustellen, die Bestätigung des Gesetzes durch die Erfahrung fehlt also vollständig, während eine theoretische Begründung gar nicht versucht ist.

Die zweite dieser Hypothesen ist von den topographischen Ingenieur-Officieren Humphreys und Abbot in den vereinigten Staaten aufgestellt. Im Jahre 1850 beschlofs der Congrefs eine nähere Untersuchung der Fluthverhältnisse des Missisippi, die demnächst unter Leitung der benannten Officiere ausgeführt wurde. Der von denselben erstattete Bericht, der auch veröffentlicht ist **), enthält nicht nur die Beschreibung des Hauptstroms und der gröfsern Nebenflüsse desselben, so wie deren Einwirkungen auf die Umgebungen, sondern aufserdem haben die Verfasser auch ihre hydrometrischen Arbeiten mit den verschiedenen Theorien über die Bewegung des Wassers in Flufsbetten verglichen, und da diese Vergleiche wesentliche Abweichungen ergaben, versucht, einige neue Gesetze hierüber aufzustellen, von denen das erste sich auf die Aenderung der Geschwindigkeit in derselben Vertikallinie in verschiedenen Tiefen bezieht.

Von den wichtigsten Abschnitten dieses Werkes und namentlich von denjenigen, welche die neuen Theorien behandeln, erschien 1867

---

*) Darstellung der wichtigsten Lehren der Hydrotechnik von Funk. Berlin 1820. S. 33 ff.

**) *Report upon the physics and hydraulics of the Missisippi River, by Captain Humphreys and Lieut. Abbot. Philadelphia* 1861.

eine deutsche Uebersetzung *), worin zugleich auf die Wichtigkeit dieser Entdeckungen aufmerksam gemacht wurde, die keinem Zweifel unterliegen soll. Als bald darauf auch in technischen Zeitschriften eben so günstige Beurtheilungen ausgesprochen wurden, hielt ich es für nöthig, auf die sehr grofsen Mängel der Begründung jener Theorien hinzuweisen **), und zu zeigen, dafs die angegebene Uebereinstimmung des neuen Gesetzes mit den zum Grunde gelegten Beobachtungen, allein auf der ganz willkührlichen Zusammenstellung und Behandlung der letzteren beruht. Indem aber auch gegenwärtig diese sogenannten neuen Theorien noch viele Anhänger finden, so dürfte es passend sein, nochmals darauf zurückzukommen, und die wesentlichen Mängel der Herleitung des Gesetzes über die Aenderung der Geschwindigkeiten in verschiedenen Tiefen auseinanderzusetzen. Von dem andern Gesetz, welches die Beziehung zwischen der mittlern Geschwindigkeit, dem Gefälle und der Tiefe ausdrückt, wird später die Rede sein.

Es waren im Ganzen 222 Beobachtungsreihen in eben so vielen Vertikallinien an verschiedenen Stellen des Missisippi ausgeführt, woselbst die Wassertiefen zur Zeit der Messung 55 bis 110 Engl. Fufs betrugen. Der Apparat, womit die Messung gemacht wurde, ähnlich dem in Fig. 73 *b* gezeichneten, erregt in sofern Bedenken, als er die Geschwindigkeit in der gewählten Tiefe nicht unabhängig von derjenigen an der Oberfläche angiebt, vielmehr letztere einigen Einfluſs auf das Resultat behält. Hiervon mag indessen abgesehn werden, da der betreffende Fehler wohl nicht bedeutend ist, dagegen rechtfertigt es sich nicht, dafs der Abstand der beiden Visirlinien, durch welche der Durchgang beobachtet wurde, selbst bei den gröfsten Geschwindigkeiten von $6\frac{2}{3}$ Fufs nur 200 Fufs betrug. Die Beobachtungszeit war in diesem Falle also nur 30 Secunden, und da zwei Personen die Beobachtung machten, so dürfte der wahrscheinliche Fehler der Zeitbestimmung wohl mindestens 1 Secunde, also 3 Procent betragen haben.

Von diesen 222 Reihen wird nur eine einzige unmittelbar der

---

*) Theorie der Bewegung des Wassers in Flüssen und Canälen, von H. Grebenau. München 1867.

**) Die neuen Theorien der Bewegung des strömenden Wassers. In Erbkam's Zeitschrift für das Bauwesen. Jahrgang XVIII. 1868. Seite 63 ff.

Untersuchung zum Grunde gelegt, alle übrigen sind zu je 2, 4, 8, 9, 10 und 16 verbunden, und es werden nur die daraus hergeleiteten arithmetischen Mittel der in gleichen Tiefen gemessnen Geschwindigkeiten mitgetheilt. In solcher Art bildeten sich 39 Reihen, die zur Auffindung des Gesetzes dienten.

Diese Reihen wurden graphisch aufgetragen, und zwar in so grofsem Maafsstabe, dafs man den tausendsten Theil eines Fufses noch leicht (*readily*) wahrnehmen konnte. Wie grofs der Maafsstab war, wird nicht angegeben, wenn aber die erwähnte Gröfse, oder der siebente Theil einer Linie noch sicher erkannt werden *sollte*, so mufste wenigstens die natürliche Gröfse gewählt werden, oder die Blätter mufsten 55 bis 110 Fufs hoch sein, was gewifs nicht geschah. Die Zeichnungen konnten also nicht entfernt diese Schärfe haben, es lag auch kein Grund vor, dieselbe ihnen zu geben, die Verfasser verstanden sich indessen zu dieser Uebertreibung, weil es ihre Absicht war, schliefslich zu zeigen, dafs die Beobachtungen bis zu dieser Schärfe mit dem aufgestellten Gesetze übereinstimmten.

Die graphische Darstellung der Beobachtungsreihen soll nun gezeigt haben, dafs die Curven oder die Geschwindigkeits-Scalen, welche durch die Messung gegeben waren, Parabeln sind, deren Achsen horizontal, also parallel zum Wasserspiegel und zwar unter demselben liegen. Die Geschwindigkeit wäre hiernach in einiger Tiefe unter der Oberfläche am gröfsten, und nähme von diesem Punkte nach oben, wie nach unten gleichmäfsig ab, während sie unmittelbar an der Sohle des Flufsbettes am kleinsten ist. Nachdem die Verfasser sich von der Allgemeinheit dieses Gesetzes überzeugt zu haben glaubten, so construirten sie Parabeln von verschiedenen Parametern auf durchsichtigem Papier, legten diese in der angegebenen Richtung über die Zeichnung der beobachteten Geschwindigkeiten und suchten diejenige Parabel und deren Höhenlage auf, die sich jedesmal am besten den Messungen anschlofs. Sie gewannen hierbei, wie sie sagen, bald solche Uebung, dafs es höchstens dreier Versuche bedurfte.

Diese Operation bot augenscheinlich Gelegenheit, jedes beliebige Gesetz willkührlich durch die Beobachtungen bestätigt zu sehn. Suchte man wirklich diejenige Parabel, die an jede Reihe sich am besten anschliefst, so konnten hierzu nur die Methoden der Wahrscheinlichkeits-Rechnung benutzt werden. Die mitgetheilten Beob-

achtungen zeigen indessen in den einzelnen Reihen solche Abweichungen, dafs wohl niemand sich entschliefsen möchte, sie einer sorgfältigen Rechnung zu unterwerfen. Das Amerikanische Werk enthält eine grofse Masse graphischer Darstellungen, doch haben die Verfasser sich wohl gehütet, diese Beobachtungsreihen in solcher Weise zu versinnlichen, weil dadurch den Lesern jede Illusion genommen und die vollständige Unbrauchbarkeit der Grundlagen dieser Untersuchung klar geworden wäre. In dem bereits erwähnten Aufsatze in der Zeitschrift für das Bauwesen habe ich einige dieser Reihen durch Zeichnung wiedergegeben, und zwar der Uebersichtlichkeit wegen in kleinem Maafsstabe. Die Beobachtungen stellen sich darin aber so unregelmäfsig dar, dafs selbst der roheste Anschlufs an eine Parabel der erwähnten Art ganz unmöglich ist. Wenn daher die vorliegende Aufgabe hierdurch zu lösen versucht wurde, so konnte man ganz unabhängig von den Messungen die Curven wählen und legen, wie man wollte, und die nachgewiesene Uebereinstimmung des Gesetzes mit den Beobachtungen ist bei solcher Behandlung der letztern sehr erklärlich. Mit Rücksicht auf die Abweichungen der einzelnen schon willkührlich mit einander verbundenen Reihen ist die erreichte Ausgleichung der Fehler an sich so unwahrscheinlich, dafs man 30 Billionen gegen 1 darauf wetten kann, dafs diese Ausgleichung sich nicht von selbst darstellte, sondern künstlich herbeigeführt wurde.

Nach Vorstehendem ist es entbehrlich, dieses Gesetz über die Beziehung der Geschwindigkeiten zu den Tiefen in derselben Vertikal-Linie näher zu bezeichnen, und noch weniger würde es sich rechtfertigen, die Ansichten der Verfasser über die Verschiedenheit der Geschwindigkeiten in einem ganzen Querprofile wiederzugeben. Wenn aber diese Kritik für den Zweck eines Handbuches zu ausgedehnt erscheint, so dürfte sie sich entschuldigen, in so fern es von grofser Wichtigkeit ist, die jüngern Fachgenossen zur unbefangenen Beurtheilung neuer Entdeckungen aufzufordern, wenn solche auch mit demselben Eclat wie die erwähnte empfohlen werden.

Auffallend ist es, dafs die regelmäfsigsten unter diesen Amerikanischen Beobachtungs-Reihen auf die parabolische Form der Geschwindigkeits-Scale hinweisen, jedoch mit der wesentlichen Abweichung von dem durch Humphreys und Abbot daraus hergeleiteten Gesetze, dafs die Achse der Parabel nicht horizontal, sondern loth-

recht anzunehmen ist, wie ich dieses bei andrer Gelegenheit nachgewiesen habe. *) Ich werde hierauf schliefslich zurückkommen, nachdem ich zuvor eine andre Eigenthümlichkeit mancher Geschwindigkeits-Messungen betrachtet habe.

Die Mehrzahl der Amerikanischen Beobachtungen, so wie auch viele sonst angestellte, ergaben, dafs die Geschwindigkeiten, wenn sie im Allgemeinen auch von oben nach unten abnehmen, doch nicht in der Oberfläche selbst, am gröfsten sind, sondern dafs in einer gewissen Tiefe darunter, vielleicht von 1 Fufs, das Maximum sich vorfindet. Bei Messungen mit dem Woltman'schen Flügel habe ich mich wiederholentlich davon überzeugt, dafs die Geschwindigkeit etwa in 6 Zoll Tiefe geringer war, als in der Tiefe von 1 Fufs. Diese Messungen wurden indessen auf einem Nachen angestellt, der ohne Zweifel in ähnlicher Weise, wie das Flufsbett selbst, oder das Ufer, die Bewegung des Wassers hindert und auf die obersten Wasserschichten den stärksten Einfluſs ausübt. An mehreren Bächen, wo eine hinreichende Wassertiefe stattfand, um die verschiedene Geschwindigkeit bemerken zu lassen, habe ich mich auch davon überzeugt, dafs ohne irgend eine äufsere Hemmung, in der Oberfläche die Bewegung geringer, als in einiger Tiefe war. Der sogenannte Landgraben, der die Wasserleitungen in Königsberg speiste, durchfloſs früher ausgedehnte Waldungen, und vielfach fielen Blätter hinein. Wenn diese einige Zeit im Wasser gelegen hatten, so war ihr specifisches Gewicht dem des Wassers beinahe gleich, so dafs sie nach Umständen bald oben, bald unten und häufig auf lange Strecken in einer mittlern Tiefe schwammen, wobei sie unmittelbar für diese Tiefen die Geschwindigkeiten bezeichneten. Wenn es sich nun traf, dafs ein frisch herabgefallenes Blatt auf der Oberfläche schwamm, oder auch ein schon getränktes Blatt, das aber noch die Oberfläche berührte, gleichzeitig mit einem andern Blatte stromabwärts trieb, welches etwas unter der Oberfläche sich hielt, so eilte das letztere jedesmal dem ersteren voran. Es zeigte sich also hier die Verzögerung der obersten Wasserschicht. Die Erscheinung war aber nicht durch die Einwirkung des Windes zu erklären, indem die geschützte Lage den Wind abhielt und selbst bei schwachem

*) Ueber die Bewegung des Wassers in Strömen, in den Abhandlungen der Berliner Academie der Wissenschaften. 1868.

Winde in der Richtung der Strömung, wobei also die Geschwindigkeit des oben schwimmenden Körpers noch etwas vergrößert werden mußte, bewegte das untere sich dennoch schneller.

In einem kleinen Canal mit gläsernen Seitenwänden, worin ich Wasser fließen ließ, zeigte sich gleichfalls die Verzögerung der Bewegung in der Oberfläche. Wenn ich einen mit dicker Tusche gefüllten Pinsel auf einen Augenblick mit der Oberfläche in Berührung brachte, so sank die Tusche, die sich sogleich ablöste, vermöge ihres größern specifischen Gewichtes nach und nach in einem scharf markirten Streifen herab, und indem derselbe an allen Bewegungen des Wassers Theil nahm, so ließ sich diese an der Richtung des schwarzen Fadens sicher erkennen. Letzterer neigte sich etwa bis zur Tiefe von ein Viertel Zoll in der Richtung des Stromes, zeigte also daß hier die Geschwindigkeit größer war, als oben, alsdann nahm er aber ohne weitere Unterbrechung eine entgegengesetzte Richtung an und gab dadurch die Abnahme der Geschwindigkeit für größere Tiefen zu erkennen.

Fragt man nach der Ursache dieser Erscheinung, so ist dieselbe darin zu suchen, daß die Oberfläche des Wassers ein andrer Körper, als das Wasser selbst ist, wie dieses schon Rumford als sehr wahrscheinlich bezeichnete. Will man den Begriff der Flüssigkeit feststellen, so ist es am natürlichsten anzunehmen, daß die einzelnen Theilchen der Masse nicht unmittelbar auf einander liegen, sondern vielmehr durch gegenseitige Molicular-Anziehung, die nur in unmessbar geringen Abständen wirksam ist, sich schwebend erhalten. Dieser Zustand ist jedoch nur im Innern der Masse denkbar. In der Oberfläche hört dieses Gleichgewicht auf, die Theilchen treten in unmittelbare Berührung, und bilden hier eine festere und stark gespannte Decke. Die sogenannten Capillar-Erscheinungen bestätigen vollständig diese Auffassung. Hieraus erklärt es sich auch, daß Wasserspinnen auf der Oberfläche des Wassers, wie auf festen Körpern, umhergehn, und daß selbst sehr flache Münzen (wie Hamburger Schillinge) bei vorsichtigem Niederlassen auf dem Wasser schwimmen, indem ihr Gewicht nicht genügt, die umgebende feste Decke zu durchbrechen. Wenn aus demselben Grunde aber in kleinen und schmalen Wasserläufen die obern Schichten zurückgehalten werden, und wenn dasselbe auch geschieht, sobald man auf einem vor Anker liegenden Boote in einem grofsen Strome

die Geschwindigkeiten mifst, so ist es doch nicht denkbar, dafs diese Wirkung noch merklich bleiben sollte, wenn die Ufer weit entfernt sind.

Die erwähnten Amerikanischen Beobachtungen zeigen in dieser Beziehung eine auffallende Verschiedenheit, die man nicht als zufällig ansehn kann. Unter den 25 Gruppen von Messungen, die in der ersten Hälfte des Jahres 1851, nämlich bis Ende Juni angestellt wurden, findet sich 21 mal in der Oberfläche, oder unmittelbar darunter eine auffallend geringere Geschwindigkeit, als in etwas gröfserer Tiefe. Unter den 14 Gruppen dagegen, die sich auf Messungen vom September bis November desselben Jahres beziehn, zeigt sich dieses nur 4 mal, wobei die Unterschiede auch nicht bedeutend sind, während 10 mal die Geschwindigkeiten in der Oberfläche am gröfsten oder doch nicht merklich kleiner, als tiefer abwärts sind. Hiernach ist zu vermuthen, dafs die frühern Messungen nicht mit Schwimmern gemacht wurden. Indem diese aber auch weit unregelmäfsiger ausgefallen sind, als die spätern, so darf man wohl auf sie kein besonderes Gewicht legen.

Mit dem am Schlusse von §. 15. beschriebenen Instrumente läfst sich sehr sicher beobachten, ob die Geschwindigkeit in der Oberfläche sich vermindert, oder nicht. Wenn dieser Apparat auch nur wenige Ruthen von dem Ufer entfernt blieb, so gab er niemals eine solche Verminderung der Geschwindigkeit zu erkennen. In mäfsiger Strömung und in Wassertiefen, welche nicht gröfser, als etwa 10 Fufs waren, zeigte er vielmehr stets das Gegentheil. Bei starker Strömung und auf tieferem Wasser behielt er nur selten eine bestimmte Richtung bei, sondern stellte sich bald in diese und bald in die entgegengesetzte Richtung und nahm oft eine drehende Bewegung an, welche längere Zeit hindurch anhielt. Dieses Verhalten erklärt sich dadurch, dafs in tiefern Gewässern der Unterschied der Geschwindigkeiten in der Oberfläche und etwa 1 Fufs darunter sehr unbedeutend ist, und durch die innern Bewegungen, namentlich bei heftiger Strömung leicht aufgehoben wird.

Man darf sonach wohl annehmen, dafs von localen und solchen Störungen abgesehn, welche die innern Bewegungen vorübergehend veranlassen, die Geschwindigkeit an der Oberfläche am gröfsten ist, und von hier ab bis zur Sohle stätig sich vermindert. Die Geschwindigkeits-Scale stellt sich sonach in einer einfacheren

Form dar, und die Kenntnifs des Gesetzes derselben würde den grofsen Vortheil gewähren, dafs man aus der Messung in der Oberfläche oder in irgend einer bestimmten Tiefe die mittlere Geschwindigkeit finden könnte. Diese Frage ist indessen bisher noch nicht beantwortet, und es scheint, dafs die innern Bewegungen, die grofsentheils von den Unregelmäfsigkeiten des Stromes abhängen, die Auffindung eines allgemein gültigen Gesetzes unmöglich machen. Nichts desto weniger mag erwähnt werden, dafs ein solches sich sehr einfach ergeben würde, wenn die in dem folgenden Paragraph nachgewiesene Beziehung der mittlern Geschwindigkeit, zu dem relativen Gefälle und dem Profile des Stromes auf die einzelnen Perpendiculär-Linien des Profiles, also auf senkrechte Sectionen desselben übertragen werden dürfte.

Wenn auch in dem Ausdruck für die mittlere Geschwindigkeit c, das relative Gefälle α nach den verschiedenen Hypothesen in verschiedenen Potenzen eingeführt wird, so hat doch fast überall die Annahme Eingang gefunden, dafs c der Quadratwurzel aus der mittlern Tiefe proportional sei, und die Beobachtungen schliefsen sich hieran auch befriedigend an. Bei Betrachtung eines gewissen Profiles im Beharrungszustande der Strömung, oder auch wenn man die Geschwindigkeiten in verschiednen Tiefen derselben Perpendiculäre untersucht, so ist für alle Punkte das Gefälle dasselbe, also constant, und hat sonach auf die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und der Tiefe, worin diese gemessen wurde, keinen Einfluſs.

Im Abstande t von der Sohle des Flufsbettes sei die Geschwindigkeit gleich v, so würde, wenn t die ganze Tiefe wird, v die Geschwindigkeit in der Oberfläche sein. Die mittlere Geschwindigkeit c der ganzen Section ist nichts andres, als der Inhalt der von der Scale umgrenzten Fläche dividirt durch die zugehörige Höhe oder durch t, also

$$c = \frac{\int v\,dt}{t}$$

Jenes aus den Beobachtungen hergeleitete Gesetz besagt aber

$$c = p\sqrt{t}$$

wo p eine Constante bedeutet, die auch vom Gefälle α abhängig ist. Hiernach hat man

$$\int v\,dt = p\,t\sqrt{t}$$

$$v\,dt = \frac{3}{2}\,p\sqrt{t}\,.\,dt$$

oder

$$v = \frac{3}{2}\,p\,.\sqrt{t}$$

Die Geschwindigkeits-Scale wäre also eine gewöhnliche Parabel, deren Achse senkrecht gerichtet ist, und deren Scheitel im Fufse der untersuchten Perpendiculären liegt.

Durch Einführung dieses Werthes von v in den ersten Ausdruck von c ergiebt sich

$$c = p\sqrt{t}$$

Man könnte also aus der in der Oberfläche beobachteten Geschwindigkeit die mittlere finden, indem man jene um den dritten Theil verminderte, oder die mittlere Geschwindigkeit wäre auch unmittelbar in der Tiefe $\frac{5}{9}$ unter der Oberfläche oder in $\frac{4}{9}$ der Tiefe über der Sohle zu messen.

Wie wichtig indessen diese einfache und aus bekannten Gesetzen hergeleitete Schlufsfolge auch erscheinen mag, so läfst sich dennoch kein Gebrauch davon machen, weil sie mit den Beobachtungen nicht übereinstimmt. Man darf freilich diese nicht als so sicher ansehn, dafs geringe Abweichungen von den Rechnungs-Resultaten die Unhaltbarkeit der letztern schon begründeten, doch sind die Abweichungen in diesem Falle sehr grofs, und durch Vergleichung der in verschiedenen Sectionen desselben Querprofiles gemessnen Geschwindigkeiten erkennt man auch die Ursache, weshalb das für das ganze Querprofil geltende Gesetz sich auf die einzelnen vertikalen Sectionen desselben nicht übertragen läfst. Die innern Bewegungen veranlassen nämlich eine auffallende Ausgleichung. Die in gleichen Tiefen gemessnen Geschwindigkeiten bleiben nahe dieselben, wenn auch die Höhen über der Sohle, also die Tiefen an den verschiedenen Stellen des Profiles sehr verschieden sind. Die Bewegungen bestehn in Wirbeln und solche können sich vorzugsweise nur in horizontaler Richtung bilden, weil sie sonst stellenweise das Wasser über die allgemeine Oberfläche bedeutend erheben müfsten. In dieser Weise gleichen sich die Geschwindigkeiten in den horizontalen Schichten ungefähr aus, und der Einfluſs der Wassertiefen an den einzelnen Stellen verschwindet. Bei der Un-

gleichförmigkeit der Sohle wird auf den vorragenden Punkten derselben die Geschwindigkeit des darüber fliefsenden Wassers keineswegs gleich Null, wie die vorstehende Herleitung dieses ergiebt, vielmehr beweist das Treiben des Sandes auf dem Grunde, dafs unmittelbar darüber die Strömung noch sehr kräftig ist.

Hiernach ist die Frage, wie man aus einer einzelnen Messung die mittlere Geschwindigkeit des ganzen Profiles oder einer Section desselben herleiten könne, zur Zeit noch nicht gelöst, und es ist auch zweifelhaft, ob eine allgemein gültige Lösung dieser Aufgabe überhaupt möglich sein wird.

§. 18.

Gleichförmige Bewegung.

Die gleichförmige Bewegung, wobei die Wassermasse mit constanter Geschwindigkeit fliefst, also weder Beschleunigung, noch Verzögerung erfährt, würde nur in den seltensten Fällen vorkommen, wenn man die Bedingung stellen wollte, dafs dabei alle einzelnen Wasserfäden unverändert ihre Geschwindigkeit beibehalten, was schon bei mäfsiger Strömung wegen der innern Bewegungen niemals geschieht. Man hat daher den Begriff erweitert, und nennt die Bewegung gleichförmig, wenn die mittlere Geschwindigkeit, und zwar in der Richtung des Stromes gemessen, sich nicht verändert. Diese Bedingung wird aber erfüllt, sobald die hinter einander liegenden Querprofile gleichen Flächeninhalt haben, während dieselbe Wassermenge sie durchströmt. Dabei pflegt man noch die fernere Bedingung zu stellen, dafs die ganze Stromstrecke ziemlich regelmäfsig gestaltet ist, und dafs die Querprofile auch in ihrer Form nicht sehr verschieden sind. Geringe Abweichungen bleiben jedoch hierbei ohne wesentlichen Einfluss. Indem man nämlich die mittlern Geschwindigkeiten doch nur bis auf einige Procente genau bestimmen kann, so darf man Differenzen zwischen den Profilen innerhalb dieser Grenze auch unbeachtet lassen. Diese Ausdehnung ist nothwendig, wenn man die folgenden Sätze überhaupt benutzen will.

Der erste Versuch zur Auffindung des Gesetzes, wonach die

Geschwindigkeit vom Gefälle und Profile eines Stroms abhängt, rührt von Brahms her, der das später allgemein angenommene Gesetz über die Bewegung des Wassers in Strömen zuerst aufstellte. Er bemerkte, dafs eine fortwährende Beschleunigung, also eine stets zunehmende Geschwindigkeit des Wassers, wie das ununterbrochene Gefälle solche veranlassen müfste, in Wirklichkeit nicht vorkommt, und dafs das Wasser vielmehr eine constante Geschwindigkeit annimmt. Er bezeichnete aber die Reibung an den Seitenwänden und auf dem Boden des Bettes als diejenige Kraft, welche der Beschleunigung entgegen wirkt, und fand, dafs sie dem Flächeninhalte des Profils dividirt durch den Umfang desselben proportional sei. *) Später theilt Brahms zwei Geschwindigkeits-Messungen mit. In einem Strome von 10 Fufs Tiefe, der auf die deutsche Meile 4 Zoll Fall hatte, betrug die Geschwindigkeit $1\frac{1}{6}$ Fufs in der Secunde, in einem andern Strome von gleicher Tiefe und einem Gefälle von 32 Zoll auf die Meile, war die Geschwindigkeit $3\frac{1}{4}$ Fufs. Diese Geschwindigkeiten sind den Quadratwurzeln der Gefälle proportional, oder der Quotient aus der ersten Gröfse durch die letzte ist eine constante Zahl.

$$1\frac{1}{6} : \sqrt{4} = 0{,}583$$

$$\text{und } 3\frac{1}{4} : \sqrt{32} = 0{,}575$$

also sehr genau übereinstimmend. Wenn man diesen Quotient durch die Quadratwurzel aus der Tiefe, also durch $\sqrt{10}$ dividirt, so erhält man dieselbe Constante, welche man auch sonst in dem Ausdruck der Geschwindigkeit einzuführen pflegt. Man mufs indessen, um die Uebereinstimmung mit der üblichen Bezeichnungsart darzustellen, das relative Gefälle und nicht das absolute Gefälle für eine Meile einführen. Brahms rechnet die Meile zu 23680 Fufs, oder 284160 Zoll, man mufs also die gefundene Constante, deren Werth im Mittel 0,579 ist mit $\sqrt{\frac{284160}{10}} = 168{,}57$ multipliciren. Sie wird alsdann 97,6 und stimmt mit dem Werthe, den spätere Untersuchungen dafür ergeben haben, nahe überein.

*) Anfangsgründe der Deich- und Wasserbaukunst von A. Brahms. Aurich. I. Theil (ohne Jahreszaahl, die Kupfer sind mit der Jahreszahl 1753 und 1756 versehn) §. 115. — II. Theil. Aurich 1757. §. 208.

Im Jahre 1775 beschäftigte sich Chézy mit derselben Aufgabe. In Gemeinschaft mit Perronet bearbeitete er das Project, den Yvette-Fluſs nach Paris zu leiten, und dabei soll er, wie Prony*) sagt, zur Bestimmung der passenden Profile den Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional angenommen und überhaupt dieselben Voraussetzungen eingeführt haben, die man später gewählt hat. Welche Beobachtungen Chézy angestellt und welchen Werth für die Constante er daraus gefunden, oder ob dieses ganz unterblieben, wird nicht mitgetheilt. Perronet erwähnt nur kurz, daſs Chézy dabei beschäftigt gewesen sei.

Dubuat behandelt die Bewegung des Wassers in Strömen und künstlichen Canälen gemeinschaftlich mit der in Röhrenleitungen, und giebt für beide dasselbe Gesetz an, dessen ich schon im I. Theil dieses Handbuches §. 16. erwähnt habe. Dabei wurden einige Beobachtungen am Canal du Yard und am Hayne-Flusse benutzt, die besonders insofern interessant sind, als zwischen den Beobachtungen die Reinigung vorgenommen wurde, und man also aus den vorher und nachher gefundenen Resultaten erkennen kann, welchen Einfluſs das im Bette wachsende Gras auf die Bewegung des Wassers ausgeübt hat.

Bei Mittheilung von Dubuat's Untersuchung bemühte sich Woltman, wie schon erwähnt, einfachere und bequemere Ausdrücke darzustellen. Er fand aber, daſs für offene Wasserleitungen und Flüsse die Einführung der zweiten Potenz der Geschwindigkeit angemessener sei, als wenn man in gleicher Weise, wie für Röhrenleitungen den Exponent $\frac{7}{4}$ wählte. Woltman findet hiernach die Gröſse des constanten Factors gleich $0{,}868 \,.\, g$ oder wenn der Zahlenwerth für g eingeführt und die Reduction auf Rheinländisches Maaſs vorgenommen wird, gleich 92,3. Eytelwein berechnete später aus den sechs und dreiſsig Dubuat'schen Beobachtungen, welche an offenen Canälen angestellt sind, und zwar unter Zugrundelegung der zweiten Potenz der Geschwindigkeit, den Werth der Constante, und fand denselben gleich 90,9.

Alle diese Herleitungen stimmen mit Ausnahme der von Du-

---

*) *Recherches physico-mathématiques etc.* in der Einleitung p. IV. und V. und §. 135 und 136.

buat gewählten sehr nahe unter sich überein. Man ging von der Ansicht aus, dafs bei der vorausgesetzten gleichförmigen Bewegung die Beschleunigung durch die Hindernisse, die sich der Bewegung entgegensetzen, aufgehoben wird. Die Beschleunigung kann daher als Maafsstab dienen, woran man die Gröfse dieser Hindernisse mifst. Wenn man annimmt, dafs die letztern nur durch die Reibung des Wassers gegen das Flufsbette veranlafst werden, so rechtfertigt sich die Annahme, dafs sie der Gröfse der berührenden Fläche proportional sind, oder wenn die Länge der untersuchten Stromstrecke gleich Eins ist, so wird der Widerstand dem Umfange des Profils oder p (natürlich mit Ausschlufs der freien Oberfläche) proportional sein. Demnächst hängt der Widerstand ohne Zweifel auch von der Geschwindigkeit c ab, und zwar ist jedesmal angenommen worden, dafs es die zweite Potenz der Geschwindigkeit sei, die man wählen müsse. Man fand sonach den Widerstand oder

$$W = n \,.\, c^2 p$$

wo n einen noch unbekannten constanten Factor bedeutet. Die Beschleunigung ist für jede Einheit der untersuchten Wassermasse gleich αg, wenn α das relative Gefälle bedeutet, also für die ganze Masse gleich $\alpha g q$, wo q den Flächeninhalt des Querprofils und zugleich den körperlichen Inhalt der untersuchten Flufsstrecke von 1 Fufs Länge bezeichnet. Man hat sonach

$$n \,.\, c^2 p = \alpha g q$$

die beiden Constanten n und g kann man mit einander verbinden, indem man eine andre Constante einführt, und

$$\frac{g}{n} = k^2$$

setzt. Es ergiebt sich alsdann der einfache Ausdruck

$$c = k \sqrt{\frac{\alpha q}{p}}$$

Nimmt man endlich darauf Rücksicht, dafs bei grofsen Strömen die Tiefe im Verhältnifs zur Breite sehr geringe ist und nicht leicht mehr, als den dreifsigsten Theil, oft aber nur den hundertsten Theil der letztern oder noch weniger beträgt, so kann man den Umfang des Profils oder p mit der Breite desselben verwechseln, der Factor $\frac{q}{p}$

ist alsdann nichts andres, als die mittlere Tiefe oder t. Dadurch verwandelt sich der gefundene Ausdruck in

$$c = k \sqrt{\alpha} \,.\, \sqrt{t}$$

Einer gegebenen Reihe von Beobachtungen, die sämmtlich mit Beobachtungsfehlern oder mit sonstigen Abweichungen behaftet sind, wird sich ein Ausdruck im Allgemeinen immer um so besser anschliefsen, je mehr Constanten er enthält. Es ist sonach natürlich, dafs auch die von Dubuat gemachten Beobachtungen sich besser darstellen lassen, wenn man einen complicirteren Ausdruck wählt. Der bessre Anschluſs, das heifst die Verminderung der Summe der Quadrate der übrig bleibenden Differenzen, ist indessen an sich noch kein Grund zur Annahme, dafs eine solche Complication oder die Einführung eines zweiten Gliedes begründet sei, man mufs vielmehr die wahrscheinlichen Fehler der Constanten mit der Gröfse der Constanten vergleichen, und nur wenn die erstern unter den Werthen der letztern bleiben, oder wenigstens nicht gröfser sind, ist einige Wahrscheinlichkeit vorhanden, dafs die Einführung derselben wirklich durch die Verhältnisse geboten sei.

Prony schlofs sich der schon früher von Coulomb ausgesprochenen Ansicht an, dafs der Widerstand, den das Wasser an den Wänden und an der Sohle der Flufsbetten erfährt, theils von der Reibung und theils von der Adhäsion oder Klebrigkeit herrührt. Er setzte voraus, erstere sei der zweiten und letztere der ersten Potenz der Geschwindigkeit proportional, so dafs

$$\frac{\alpha q}{p} = r c + s c^2$$

Durch Vergleichung mit zwei von Chézy und sechs von Dubuat angestellten Beobachtungen, die sich sämmtlich auf Canäle oder kleine Flüsse beziehn, bestimmte Prony *) nach einer nicht ganz richtigen Methode die beiden Constanten, und gelangte dadurch zu dem Ausdruck

$$c = -0{,}1748 + \sqrt{(0{,}03056 + 3687{,}5 \,.\, \alpha t)}$$

wo t für $\frac{q}{p}$ gesetzt ist. Hierbei ist das Metrische Maafs zum Grunde gelegt, auf Preufsisches Fufsmaafs reducirt, verwandelt sich der Ausdruck in

*) *Recherches physico-mathématiques. pag.* 64.

$$c = -0{,}2230 + \sqrt{(0{,}0508 + 10301 \,.\, \alpha t)}$$

Dieses ist die Formel, welche in Frankreich seitdem zur Berechnung der mittlern Geschwindigkeit des Wassers in Canal- und Flufsbetten angewendet wird.

Ferner ist eine Untersuchung von Eytelwein zu erwähnen, welche vor allen übrigen sich dadurch auszeichnet, dafs eine Menge Beobachtungen, die an grofsen Strömen angestellt sind, zur Herleitung der Constanten benutzt wurden. Die Anzahl der Beobachtungen beträgt ein und neunzig, darunter befinden sich zunächst wieder die sechs und dreifsig Messungen von Dubuat, sodann sechszehn von Brünings, die an der Whaal, der Yssel und dem Rhein gemacht wurden, vier von Woltman an den Entwässerungs-Canälen bei Kuxhaven und Ritzebüttel und fünf und dreifsig von Funk an der Weser angestellte. Diese verschiednen Messungen umfassen ungefähr alle Verhältnisse, welche bei uns vorzukommen pflegen, indem die Geschwindigkeiten von 2 Zoll bis zu $7\frac{2}{3}$ Fufs in der Secunde wechseln und die Profile zwischen 24 Quadratzoll und 19000 Quadratfufs enthalten. Die Abweichungen, welche der hieraus hergeleitete Ausdruck gegen die einzelnen Beobachtungen zeigt, sind keineswegs auffallend grofs, sie betragen durchschnittlich nur etwa 10 Procent, einzelne und namentlich die von Funk herrührenden, weichen dagegen viel stärker und sogar bis 40 Procent von den Resultaten der Rechnung ab.

Diese Untersuchung scheint sonach nicht nur höchst wichtig, sondern fast erschöpfend zu sein. Wenn sie von den deutschen Hydrotecten wenig benutzt worden ist, so liegt der Grund darin, dafs sie zunächst nur in den Schriften der Berliner Academie *) bekannt gemacht wurde. Prony theilte sie dagegen sogleich in einem Nachtrage zu seiner oben erwähnten Schrift den Französischen Ingenieuren mit **). Erst in der spätern Ausgabe des Handbuches der Mechanik und Hydraulik (von 1842) hat Eytelwein diese Abhandlung als Anhang beigefügt. In Frankreich fand diese Mittheilung grofse Anerkennung, da sie die von Prony gefundenen Resultate sehr be-

*) Untersuchung über die Bewegung des Wassers u. s. w. in den Abhandlungen der mathematischen Classe der Academie der Wissenschaften. Jahrgang 1813 und 1814.

**) *Recueil de cinq tables pour faciliter et abréger les calculs des formules relatives aux mouvements des eaux. Paris* 1825.

friedigend bestätigte. D'Aubuisson *) theilt die Constanten mit, die Eytelwein gefunden hatte, und giebt dabei zugleich eine kurze Beschreibung der zum Grunde liegenden Beobachtungen.

Eytelwein befolgte das von Prony gewählte Verfahren, er setzte nämlich voraus, dafs der Widerstand aus zweien Gliedern bestehe, von denen das eine die erste, und das andre die zweite Potenz der Geschwindigkeit als Factor enthält. Es kam darauf an, aus einer grofsen Anzahl von Gleichungen, die mit der Anzahl der Beobachtungen übereinstimmt, zwei unbekannte Gröfsen zu ermitteln. Die wahrscheinlichsten Werthe der letztern wären diejenigen gewesen, für welche die Summe der Quadrate der Abweichungen zwischen den berechneten und beobachteten Geschwindigkeiten ein Minimum ist. Eytelwein führte dagegen, wie Prony, die Bedingungen ein, die Laplace, bevor die Methode der kleinsten Quadrate noch bekannt war, zur Bestimmung der Abplattung der Erde benutzt hatte **). Mit Einführung einiger willkührlichen Aenderungen gelangte Eytelwein schliefslich zu dem Ausdruck

$$c = -0{,}1057 + \sqrt{(0{,}01118 + 8715{,}6 \,.\, \alpha t)}$$

Das wichtigste Bedenken gegen dieses Resultat, bezieht sich auf die Frage, ob die der Rechnung zum Grunde gelegten Beobachtungen wirklich gemacht sind. Die sechszehn von Brünings angestellten Beobachtungen beziehn sich, nach der Mittheilung von Wiebeking ***) und ebenso nach der von Woltman †), nur auf Bestimmung der Wassermenge, indem man ermitteln wollte, in welchem Verhältniss der Rhein sich auf die drei Hauptarme, die Whaal, den Leck und die Yssel vertheilt. Die angestellten Messungen ergeben den Flächeninhalt, sowie den Umfang der Profile und zugleich die mittlere Geschwindigkeit. Es fehlt indessen das Gefälle, welches man nothwendig braucht, wenn man diese Beobachtungen zur Herleitung der constanten Factoren benutzen will. Das Gefälle stand aber mit dem Zweck jener Messung in keiner Beziehung. Funk ††) führt diese Beobachtungen gleichfalls an, und zwar mit Beifügung

---

*) *Traité d'hydraulique. Paris* 1834. §. 100.

**) *Mécanique céleste. Liv. III.* Art. 39 und 40.

***) Allgemeine Wasserbaukunst. Ausgabe von 1798. Theil I. Seite 344—388.

†) Beiträge zur hydraulischen Architectur. III. Seite 350—361.

††) Beiträge zur allgemeinen Wasserbaukunst. Lemgo 1808. Seite 97.

desselben Gefälles, welches Eytelwein seinen Rechnungen zum Grunde gelegt hat. Wenn es schon befremdet, dafs Angaben aus einer Quelle, nämlich dem Werke von Wiebeking, entnommen sein sollen, worin sie sich keineswegs vollständig befinden, so beweist auch ein Druckfehler in der von Funk gemachten Zusammenstellung, dafs Eytelwein nicht weiter zurückging, sondern nur diese benutzte. Vergleicht man aber die von Funk bezeichneten Gefälle, so bemerkt man sogleich, dafs sie in einzelnen Gruppen, wenn auch unter sehr verschiedenen Umständen sehr nahe gleiche Gröfse haben, und zwar ist dieses eben sowol bei den Beobachtungen von Brünings der Fall, wie bei den von Funk selbst an der Weser angestellten. Das Auffallendste dabei ist aber, dafs es in jeder von diesen Gruppen eine Beobachtung giebt, gewöhnlich ist es die letzte, in der aus dem angegebenen Gefälle sehr genau die mittlere Geschwindigkeit sich eben so grofs, wie nach der einfachen Eytelwein'schen Formel, unter Zugrundelegung des constanten Factors 90,9 herausstellt.

Als Beispiel der Anwendung der Wahrscheinlichkeits-Rechnung habe ich untersucht *), wie grofs die Wahrscheinlichkeit sei, dafs *unter* Berücksichtigung der Abweichungen in allen Messungen, die Brünings anstellte, eine solche Uebereinstimmung in jeder Gruppe einmal zufällig sich einstellen konnte. Ich fand, dafs man eine Summe, die durch neun und zwanzig Ziffern ausgedrückt ist, von denen die ersten 2344 sind, gegen Eins dafür verwetten darf, dafs die Uebereinstimmung nicht zufällig eingetreten, sondern künstlich herbeigeführt ist. Hiernach unterliegt es keinem Zweifel, dafs Funk keineswegs in der Absicht zu täuschen (er selbst macht von diesen Angaben keinen weitern Gebrauch), sondern wahrscheinlich nur zur Vervollständigung der Mittheilung, die nicht gemessenen Gefälle nach der Formel von Eytelwein berechnete. Wenn alsdann rückwärts hieraus wieder die Constanten hergeleitet wurden, so konnten die Resultate von den frühern nicht wesentlich abweichen, und sie beruhen in der That ausschliefslich auf den Beobachtungen von Dubuat, welche auch Prony seiner Rechnung zum Grunde gelegt hat.

In der ersten Ausgabe dieses Handbuches versuchte ich aus verschiedenen Beobachtungen, und vorzugsweise aus denjenigen, die

---

*) Grundzüge der Wahrscheinlichkeits-Rechnung. Zweite Ausgabe. Berlin 1867. §. 35.

Dubuat am Hayne-Flusse und am Jard-Canale, und Woltman an zwei Entwässerungs-Gräben bei Cuxhaven angestellt hatte*), nach der Methode der kleinsten Quadrate die wahrscheinlichsten Werthe der Constanten herzuleiten. Ich fand für Rheinländisches Maafs

$$c = -0{,}4225 + \sqrt{(0{,}1785 + 14611 \,.\, \alpha t)}$$

und ich empfahl, dafür den einfachern Ausdruck

$$c = k\sqrt{\alpha t}$$

zu benutzen, indem man den Werth von k mit c wachsen läfst. Dieser würde sich von 74 bis 110 vergröfsern, während c von 0,5 bis 4,0 Fufs zunimmt.

Die sämmtlichen vorstehend erwähnten Beobachtungen, soweit sie als zuverlässig angesehn werden dürfen, beziehn sich nur auf sehr kleine Wasserläufe, deren Tiefen und Geschwindigkeiten überaus geringe sind. Es konnte daher nicht befremden, dafs die daraus hergeleiteten Gesetze sich an den Messungen, welche Humphreys und Abbot am Missisippi angestellt hatten**), sich nicht entfernt daran anschlossen. Die Tiefen betrugen hier über 100 Fufs, und die Geschwindigkeiten bis nahe 7 Fufs. Wenn die Schärfe dieser Beobachtungen nach den darüber gemachten Mittheilungen sich auch nicht sicher beurtheilen läfst, so begründen sich gegen dieselbe doch keine wesentlichen Bedenken, und man darf bei Messungen dieser Art überhaupt eine grofse Genauigkeit nicht erwarten. Die mittlern Geschwindigkeiten werden aus den Wassermengen, und diese wieder aus den an vielen Punkten gemessnen Geschwindigkeiten abgeleitet. Letztere sind aber in der Nähe der Sohle des Flufsbettes nicht zu ermitteln, welche Instrumente man dazu auch wählen mag. Die Schwimmer dürfen den Grund nirgend berühren, weil sie sonst aufgehalten werden, da sie aber auf längere Strecken frei treiben sollen, so müssen in gröfsern Strömen ihre untern Enden mehrere Fufse vom Grunde entfernt bleiben. Andre Instrumente, wie etwa der Woltman'sche Flügel, versagen in der Nähe des Grundes gleichfalls ihren Dienst, weil gewöhnlich hier grofse Sandmassen treiben, die in die Lager und zwischen die Zähne sich setzen und die Bewegung hemmen oder ganz unterbrechen. Jedenfalls bleibt es also

---

*) Beiträge zur Baukunst schiffbarer Canäle von R. Woltman. Göttingen 1802. Seite 286.

**) In dem bereits erwähnten Werke zusammengestellt S. 316.

unbekannt, welche Wassermenge in der Nähe des Umfanges des Profiles abgeführt wird, wo doch die Geschwindigkeit von der gemessnen sehr verschieden ist. Demnächst fragt es sich auch, ob das Gefälle der betreffenden Stromstrecken, das gewöhnlich sehr klein ist, stets mit hinreichender Schärfe festgestellt wurde. Die Resultate, die man hieraus ziehn kann, sind also nur als annähernd richtig anzusehn.

In dem Amerikanischen Werke werden 19 Beobachtungen mitgetheilt, die am Missisippi und dessen Zuflüssen angestellt sind. Aufser der nähern Bezeichnung des Beobachtungsortes und der Zeit enthalten sie jedesmal den Flächeninhalt des Profiles, dessen Breite, benetzten Umfang und gröfste Tiefe, ferner die mittlere Geschwindigkeit und das Gefälle. In Betreff der mittlern Geschwindigkeit lassen freilich einige Andeutungen vermuthen, dafs dieselben in manchen Fällen, nicht aus einer grofsen Anzahl, sondern nur aus einigen wenigen Messungen nach der Theorie der Verfasser hergeleitet ist, und daher wohl nicht als ganz sicher angesehn werden kann. Es mag hierbei sogleich erwähnt werden, dafs nach diesen Mittheilungen für Profile von mehr als 100 000 Quadratfufs Flächeninhalt der benetzte Umfang durchschnittlich nur um 1,3 Procent gröfser ist, als die Breite, bei einem Flächen-Inhalt von 2000 bis 5000 Quadratfufs stellt der Unterschied sich auf 3 Procent, und für die beiden kleinern Rigolen von etwas über 100 Quadratfufs Querschnitt sogar auf 42 Procent.

Aufser diesen eignen Beobachtungen werden noch zwei von Dubuat, eine von Watt in England, fünf von Krayenhof in den Niederlanden, eine von Buffon an der Tiber und zwei von Destrem in Rufsland ausgeführte zusammengestellt.

Diese dreifsig Beobachtungen vergleichen die Verfasser mit den verschiednen Theorien über die Bewegung des Wassers in Strömen und finden, dafs sie an keine der letztern sich befriedigend anschliefsen. Sie versuchen daher, ein passenderes Gesetz darzustellen, indem sie zugleich verschiedne bisher unbeachtete Umstände, wie z. B. die Reibung des Wassers gegen die Luft mit berücksichgen. Sie gelangen dadurch schliefslich zu dem nachstehenden Ausdruck, der sich auf Englisches Fufsmaafs bezieht. *)

*) Seite 312 des Amerikanischen Werkes.

$$\sqrt{c} = \sqrt{(0{,}0081 \,.\, r + \sqrt{225 \,.\, s \sqrt{\alpha}})} - 0{,}09 \,.\, \sqrt{r}$$

darin ist

$$r = \frac{1{,}69}{\sqrt{t} + 1{,}5}$$

$$s = \frac{q}{p + b}$$

Es bezeichnet aber

c die mittlere Geschwindigkeit,
α das relative Gefälle,
q den Flächeninhalt des Querprofiles,
p der benetzte Umfang,
b die Breite, und
$t = \frac{q}{p}$ die mittlere Tiefe desselben.

Indem die angegebenen Zahlenwerthe fünf Constanten darstellen, so liefsen sich diese gewifs so wählen, dafs die Formel sich besser an die Beobachtungen anschliefsen mufste, als wenn man, wie sonst geschehn, deren nur eine oder zwei gewählt hätte. Die Rechnung ist indessen ziemlich willkührlich geführt, und so ergiebt sich, dafs jene dreifsig Beobachtungen sehr oft Werthe für c ergeben, die um 10 Procent von den berechneten abweichen. Mehrmals beträgt der Unterschied 15 Procent.

Aufser diesen Amerikanischen Messungen sind in neurer Zeit noch andre ausgeführt und bekannt gemacht, die gleichfalls Gelegenheit bieten, die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit, dem Gefälle und der mittlern Tiefe zu prüfen. Darcy und Bazin haben solche mitgetheilt. *) Diese betreffen theils kleinere Canäle, theils gröfsere Ströme. In Canälen sind im Ganzen sechszig Beobachtungen gemacht, darunter befindet sich indessen eine grofse Anzahl, die sich auf ausgemauerte oder mit Bohlen verkleidete Canäle mit steilen Böschungen beziehn, oder auf solche, wobei die Canäle verkrautet waren. Indem diese Messungen für den vorliegenden Zweck nicht berücksichtigt werden durften, so blieben nur die Nummern 37, 38, 40, 41 und 49, oder zwanzig Beobachtungen übrig.

Was dagegen die eben daselbst mitgetheilten an Strömen ange-

*) *Recherches hydrauliques entreprises par Darcy et Bazin. Paris* 1865. *p.* 119 - 120 und *p.* 309.

stellten Beobachtungen betrifft, so sind die ersten eilf von Poirée an der Seine in Paris gemacht. Diese gaben zu keinem Bedenken Veranlassung. Die zweite Reihe von neun Beobachtungen gleichfalls an der Seine bei Poissy, Treil und Meulan wurden dagegen gemacht, während der Strom nicht im Beharrungszustande war, vielmehr seinen Wasserstand jedesmal veränderte, in einem Falle sogar um nahe 2 Fufs. Bei der dritten Reihe, die zehn Messungen umfafst, die an der Saône bei Raconnay gemacht wurden, waren die Wasserstände wieder nicht constant, und aufserdem befremdet es, dafs das Gefälle unverändert dasselbe geblieben sein soll, obwohl die Wasserstände um 11 Fufs verschieden waren. Von diesen Messungen konnte ich sonach nur die erste Reihe benutzen.

Endlich versuchte ich auch noch, die von Brünings angestellten Beobachtungen, die wie bereits erwähnt, Eytelwein schon zum Grunde gelegt hatte, und die gewifs in Betreff der Geschwindigkeits-Messungen besonderes Vertrauen verdienen, dadurch nutzbar zu machen, dafs ich die spätern Nivellements der betreffenden Stromstrecken, und zwar mit Berücksichtigung der Aenderungen des Gefälles bei verschiedenen Wasserständen in die Rechnung einführte.

Indem ich die von Darcy mitgetheilten Beobachtungen in zwei Gruppen trennte, da ich mich zu überzeugen wünschte, ob die Bewegung des Wassers in gröfsern Strömen denselben Gesetzen folgt, wie in kleinern Canälen, so bildeten sich im Ganzen vier Gruppen, nämlich

I. die zuerst erwähnten 19 Amerikanischen Beobachtungen,
II. 17 Messungen von Brünings,
III. 11 dergleichen von Poirée an gröfsern Strömen und
IV. 20 dergleiehen an Canälen angestellte.

Ich habe bereits früher *) diese Beobachtungen einzeln mitgetheilt, und den Gang der Untersuchung, so wie die daraus hergeleiteten Resultate speciell angegeben. Es mag darüber hier nur im Allgemeinen bemerkt werden, dafs die übliche Voraussetzung, bei gleichförmiger Bewegung werde die aus dem Gefälle entspringende Beschleunigung nur durch den Widerstand aufgehoben, den das Wasser bei Berührung der Sohle und der Wände seines Bettes erfährt, gewifs nicht richtig ist. Die innern Bewegungen, die wahr-

*) Abhandlungen der Berliner Academie der Wissenschaften. 1868.

scheinlich niemals ganz fehlen, und die man bei den Geschwindigkeits-Messungen in der allgemeinen Richtung des Stromes gar nicht bemerkt, können gleichfalls nur durch das Gefälle veranlafst werden. Sie bilden sich aber immer um so stärker aus, je gröfser die gemessnen Geschwindigkeiten und die Gefälle sind. Hiernach wird es zweifelhaft, ob die mittlere Geschwindigkeit der Quadratwurzel, oder vielleicht einer andern Potenz des Gefälles proportional ist.

In Betreff der mittlern Tiefe, oder des Quotienten der Profilfläche dividirt durch den benetzten Umfang, begründete sich weder durch die Geschwindigkeits-Scalen in einzelnen Perpendikeln, noch durch Vergleichung der mittlern Geschwindigkeiten des ganzen Profiles bei nahe übereinstimmenden Gefällen ein Zweifel gegen die Voraussetzung, dafs die mittlere Geschwindigkeit bei gleichem Gefälle der Quadratwurzel aus der mittlern Tiefe proportional sei. Hiernach verglich ich die sämmtlichen Beobachtungen jeder Gruppe mit dem Ausdruck

$$c = k \,.\, \sqrt{t} \,.\, \alpha^z$$

indem c die mittlere Geschwindigkeit, t die mittlere Tiefe, α das relative Gefälle und k und z zwei Zahlen sind, deren Gröfse gesucht wird. Die Berechnung des wahrscheinlichsten Werthes des Exponenten z ist ziemlich weitläufig, da es aber darauf ankommt, in den Resultaten aus den verschiednen Gruppen die Werthe von k in Uebereinstimmung zu bringen, und man überdiefs annehmen kann, dafs z ein einfacher Bruch sein mufs, so führte ich dafür die Werthe $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$ und $\frac{1}{7}$ ein und berechnete jedesmal den wahrscheinlichsten Werth des Factors k. Durch Einführung desselben liefs sich die Uebereinstimmung mit den Beobachtungen leicht beurtheilen, und in dieser Beziehung sind in nachstehender Tabelle noch die Summen der übrig bleibenden Fehlerquadrate unter der Bezeichnung (xx) beigefügt.

Hiernach ergab sich für die I. Gruppe in Englischem Fufsmaafs

für $z = \frac{1}{2}$	$k =$ 127,5	$(xx) =$	52;22
$= \frac{1}{3}$	$=$ 22,97	$=$	6,99
$= \frac{1}{4}$	$=$ 9,33	$=$	1,22
$= \frac{1}{5}$	$=$ 6,04	$=$	0,86
$= \frac{1}{6}$	$=$ 4,35	$=$	2,10
$= \frac{1}{7}$	$=$ 3,44	$=$	3,79

Für die II. Gruppe, welche die Niederländischen Messungen enthält, und sich auf Rheinländisches Fufsmaafs bezieht, fand ich

für $z = \frac{1}{2}$	$k = 102{,}5$	$(xx) = 4{,}14$
$= \frac{1}{3}$	$= 22{,}65$	$= 3{,}54$
$= \frac{1}{4}$	$= 10{,}58$	$= 3{,}27$
$= \frac{1}{5}$	$= 6{,}72$	$= 3{,}12$
$= \frac{1}{6}$	$= 4{,}96$	$= 3{,}05$
$= \frac{1}{7}$	$= 4{,}00$	$= 2{,}98$
$= \frac{1}{8}$	$= 3{,}40$	$= 2{,}92$

Die III. Gruppe, die Beobachtungen in den erwähnten Strömen in Frankreich betreffend und im metrischem Maafse ausgedrückt, ergiebt

für $z = \frac{1}{2}$	$k = 53{,}11$	$(xx) = 0{,}177$
$= \frac{1}{3}$	$= 11{,}67$	$= 0{,}142$
$= \frac{1}{4}$	$= 5{,}56$	$= 0{,}137$
$= \frac{1}{5}$	$= 3{,}56$	$= 0{,}135$
$= \frac{1}{6}$	$= 2{,}65$	$= 0{,}135$
$= \frac{1}{7}$	$= 2{,}13$	$= 0{,}136$

Endlich die IV. Gruppe, welche Messungen an kleinern Canälen, und zwar wieder in Meter ausgedrückt, umfafst, ergiebt

für $z = \frac{1}{2}$	$k = 28{,}12$	$(xx) = 0{,}121$
$= \frac{1}{3}$	$= 8{,}13$	$= 0{,}066$
$= \frac{1}{4}$	$= 4{,}39$	$= 0{,}058$
$= \frac{1}{5}$	$= 3{,}03$	$= 0{,}059$
$= \frac{1}{6}$	$= 2{,}37$	$= 0{,}063$
$= \frac{1}{7}$	$= 1{,}99$	$= 0{,}067$

Die Vergleichung der Summen der übrig bleibenden Fehlerquadrate zeigt also, dafs der übliche Exponent des Gefälles viel zu grofs ist, und dafs man einen weit geringern wählen mufs, um die Beobachtungen darzustellen. Die wahrscheinlichsten Werthe von z sind

nach der	I. Gruppe	etwas mehr als $\frac{1}{3}$
- -	II. -	ungefähr $\frac{1}{5}$
- -	III. -	zwischen $\frac{1}{5}$ und $\frac{1}{6}$
- -	IV. -	zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{5}$

Um die richtige Wahl in Betreff der Exponenten zu treffen, mufs man die zugehörigen Werthe von k mit einander vergleichen, nachdem dieselben auf gleiches Maafs reducirt sind. Indem ich das

Rheinländische Fufsmaafs zum Grunde legte, ergaben sich für die verschiedenen Gruppen und Exponenten die nachstehenden Werthe von k.

	I.	II.	III.	IV.	(xx)
für $z = \frac{1}{2}$	125,7	102,5	94,80	50,19	0,344
$= \frac{1}{3}$	22,64	22,75	20,84	14,52	0,110
$= \frac{1}{4}$	9,79	10,84	9,94	7,83	0,046
$= \frac{1}{5}$	5,95	6,72	6,36	5,41	0,026
$= \frac{1}{6}$	4,28	4,96	4,73	4,23	0,018
$= \frac{1}{7}$	3,39	4,00	3,81	3,55	0,016

Die letzte Spalte mit (xx) überschrieben, bezeichnet die Summe der Quadrate der relativen Abweichungen der zu gleichem Exponenten gehörigen Werthe von k, von dem arithmetischen Mittel derselben. Es ergiebt sich hieraus, dafs der Exponent $\frac{1}{7}$ eine etwas gröfsere Wahrscheinlichkeit für sich hat, als $\frac{1}{6}$, dafs der Unterschied aber sehr geringe ist, woher ich mich für den letztern entschied und den Ausdruck

$$c = k \,.\, \sqrt{t} \,.\, \sqrt[6]{\alpha}$$

wählte.

Nunmehr kam es noch darauf an, unter gleichmäfsiger Berücksichtigung der sämmtlichen zum Grunde liegenden 66 Beobachtungen den wahrscheinlichsten Werth von k zu bestimmen, und hiernach ergab sich

$$k = 4{,}3291$$

Für Rheinländisches Fufsmaafs hat man also

$$c = 4{,}33 \,.\, \sqrt{t} \,.\, \sqrt[6]{\alpha}$$

für Englisches Fufsmaafs

$$c = 4{,}39 \,.\, \sqrt{t} \,.\, \sqrt[6]{\alpha}$$

und in Metern ausgedrückt

$$c = 2{,}425 \,.\, \sqrt{t} \,.\, \sqrt[6]{\alpha}$$

In neuster Zeit bot sich mir noch Gelegenheit, einige bei Arneburg an der Elbe ausgeführte Messungen zu benutzen. Dieselben sind von meinem Sohne L. Hagen mit dem Woltmanschen Flügel angestellt, indem in horizontalen Abständen von je 5 Ruthen, die Geschwindigkeiten in Tiefen von 2 zu 2 oder von 1 zu 1 Fufs unter einander gemessen wurden. Die Beobachtungen sollten zur Bestimmung der Wassermengen bei verschiednen Wasserständen und

namentlich bei den höchsten Anschwellungen dienen, woher es nöthig war eine Stromstrecke zu wählen, worin nicht nur das Hochwasser einen möglichst geraden Lauf hatte, sondern wo dasselbe auch durch natürliche höhere Ufer oder durch Deiche scharf begrenzt war. Beide Bedingungen wurden an dieser Stelle erfüllt, doch trat den Messungen bei kleinerem Wasser der Uebelstand entgegen, dafs die Wiesenflächen in einem Falle nur wenig inundirt waren, so dafs wegen der Unebenheit ihrer Oberfläche keine regelmäfsige Strömung sich darüber bilden konnte. Aufserdem wird hier das rechtseitige Ufer durch ein ausgedehntes Buhnensystem gedeckt, in dessen Intervallen bei kleinem Wasser gleichfalls eine regelmäfsige Strömung nicht statt finden kann. Um diese mit grofser Vorsicht ausgeführten Messungen für den vorliegenden Zweck benutzen zu können, legte ich nur einen Theil des Querprofiles der Rechnung zum Grunde, und zwar denjenigen, der sich von der Streichlinie der Buhnen bis zum gegenüberliegenden höhern Uferrande erstreckt. Um für diesen Theil sowol die Profilflächen, wie die Wassermengen genau angeben zu können, mufsten die Endpunke der Profile jedesmal in eine Perpendiculäre fallen, worin Geschwindigkeiten gemessen waren. Zur Bestimmung des relativen Gefälles waren ober- und unterhalb des gewählten Profiles im gegenseitigen Abstande von 120 Ruthen Pegel errichtet, deren Nullpunkt nach sorgfältigem Nivellement in denselben Horizont gelegt waren.

Die drei Beobachtungen sind:

		1.	2.	3.
	Wasserstand	13′,5	9′,1	4′,9
M	Wassermenge	46 113	21 576	9 197
q	Fläche des Querprofils . .	13 205	8 532	3 463
p	Breite oder benetzter Umfang	1 164	1 200	600
	α relatives Gefälle . . .	0,0001302	0,0002170	0,0002604
	c mittlere Geschwindigkeit	3,492	2,529	2,656
	t mittlere Tiefe	11,34	7,11	5,77

Indem ich wieder den Ausdruck

$$c = k \,.\, \sqrt{t} \,.\, \alpha$$

zum Grunde legte, fand ich die wahrscheinlichsten Werthe von k und die Summe der Quadrate der übrigbleibenden Fehler

für $z = \frac{1}{2}$	$k = 74{,}39$	$(xx) = 0{,}607$
$= \frac{1}{3}$	$= 18{,}23$	$= 0{,}318$
$= \frac{1}{4}$	$= 8{,}816$	$= 0{,}209$
$= \frac{1}{5}$	$= 5{,}749$	$= 0{,}161$
$= \frac{1}{6}$	$= 4{,}314$	$= 0{,}135$
$= \frac{1}{7}$	$= 3{,}516$	$= 0{,}119$
$= \frac{1}{8}$	$= 3{,}033$	$= 0{,}120$

Die Beobachtungen schliefsen sich also am besten an diesen Ausdruck an, wenn man z zwischen $\frac{1}{7}$ und $\frac{1}{8}$ setzt, der Unterschied in den Fehlern ist jedoch auch gegen $\frac{1}{6}$ nicht bedeutend, und der diesem Exponent entsprechende Werth von k, nämlich 4,314, stimmt mit dem aus den frühern Beobachtungen hergeleiteten so nahe überein, dafs hierdurch aufs Neue jenes Resultat bestätigt wird.

Beiläufig mag noch erwähnt werden, dafs mehrere Beobachtungen, die an kleinen Entwässerungsgräben bei sehr steilen und zum Theil senkrechten Seitenwänden angestellt waren, gleichfalls zu ähnlichen Resultaten führten. Indem ich nämlich den Werth von t dadurch bestimmte, dafs ich das Querprofil durch den benetzten Umfang dividirte, so ergab sich, dafs die Summe der Quadrate der übrigbleibenden Fehler wieder am kleinsten wurde, wenn der Exponent des Gefälles zwischen $\frac{1}{6}$ und $\frac{1}{7}$ angenommen war. Unter Einführung der sechsten Wurzel des Gefälles fand ich aber den wahrscheinlichsten Werth der Constante

$$k = 5{,}14$$

Diese Vergröfserung des Factors erklärt sich wohl dadurch, dafs in den scharfen Winkeln, unter welchen die Seitenwände den Boden treffen, beide nur einen geringern Einfluſs auf das Wasser ausüben können, als wenn der Umfang, wie in einem Flufsbette sehr flache Krümmungen bildet. Der benetzte Umfang ist also mit Rücksicht auf seine Wirkung zu grofs, oder die mittlere Wassertiefe zu klein in Rechnung gestellt, woher der constante Factor sich vergröfsern mufs, um die richtige mittlere Geschwindigkeit darzustellen. Zu demselben Resultat gelangt man auch, wenn man annimmt, dafs die in jenen Winkeln befindlichen Wasserfäden unter der Einwirkung von zwei Seiten vollständiger zur Ruhe kommen. Der Fall ist alsdann derselbe, als wenn die hohlen Kanten abgestumpft wären, wodurch der Flächeninhalt des Querprofiles verhältnifsmäfsig sich weniger verkleinert, als der Umfang.

Indem die sämmtlichen vorstehend erwähnten Beobachtungen alle mir bekannt gewordenen umfassen, soweit sie mit einiger Sorgfalt ausgeführt sind, und sie sämmtlich auf das gefundene Gesetz hinweisen, so darf dieses nach dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft wohl als berechtigt angesehn werden, wenn man auch keineswegs erwarten darf, dafs es bei den vielen zufälligen Störungen, deren Ursache oft gar nicht zu erkennen ist, in jedem Falle mit voller Schärfe die mittlere Geschwindigkeit darstellen wird.

Es mufs aber noch darauf aufmerksam gemacht werden, dafs der oben mitgetheilte Ausdruck, den Humphreys und Abbot angegeben, gleichfalls darauf hinweist, dafs eine höhere Wurzel des Gefälles zu wählen sei. Wenn die mittlere Tiefe so grofs ist, dafs die Constante 1,69 gegen die Wurzel aus $t + 1{,}5$ sehr klein wird, also r vernachlässigt werden darf, so verwandelt sich die Gleichung in

$$c = 15 \cdot \sqrt{\frac{q}{p+b}} \cdot \sqrt[4]{\alpha}$$

Der zweite Factor ist aber bei grofsen Strömen sehr nahe der Wurzel aus $\frac{1}{2}t$ gleich, daher wäre

$$c = 10{,}6 \cdot \sqrt{t} \cdot \sqrt[4]{\alpha}$$

Auch der Französische Ingenieur Gauckler *) hat die vierte Wurzel des Gefälles gewählt, doch unterscheidet sich die von ihm angegebene Formel noch darin von der meinigen, dafs er die mittlere Tiefe nicht in der Quadratwurzel, sondern in der dritten Wurzel einführt

$$c = k \cdot \sqrt[3]{t} \cdot \sqrt[4]{\alpha}$$

Derselbe theilt eine grofse Anzahl Beobachtungen mit, die diesen Ausdruck bestätigen sollen. Dieses sind, soweit sie Canal- oder Flufsbetten mit Erdböschungen betreffen, dieselben die ich zur Herleitung des aufgestellten Gesetzes nach den Angaben von Darcy und Bazin benutzt hatte. Die Entscheidung, ob diese oder jene Annahme die richtigere sei, hängt von der Summe der Quadrate der übrig bleibenden Fehler ab. Ich habe daher unter Zugrundelegung des von Gauckler gewählten Ausdruckes für jede Reihe den wahrscheinlichsten Werth von k gesucht, und unter Einführung desselben die Geschwindigkeiten berechnet, die alsdann mit den beobachteten verglichen wurden.

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1868. *I. p.* 254.

Für jene zwanzig an Canälen angestellten Beobachtungen ergab sich unter Beibehaltung des metrischen Maafses

$$k = 3{,}820$$

und die Summe der übrig bleibenden Fehlerquadrate war

$$(xx) = 0{,}755$$

während bei den von mir gewählten Exponenten die Summe der Fehlerquadrate $(xx) = 0{,}063$ war. Die letzte Hypothese ist also in hohem Grade die wahrscheinlichere.

Für die eilf an der Seine in Paris gemachten Messungen ist nach Gauckler's Formel

$$k = 6{,}874$$

und die Summe der Fehlerquadrate

$$(xx) = 0{,}311$$

während letztere nach meiner Rechnung nur $(xx) = 0{,}135$ ist. Also auch hier verdient die Quadratwurzel von t unbedingt den Vorzug.

Endlich habe ich auch noch die neun von Emmery an der Seine bei Poissy, Triel und Meulan angestellten Beobachtungen, die ich wegen des wechselnden Wasserstandes früher unbeachtet gelassen hatte, nach beiden Hypothesen berechnet. Für

$$c = k \,.\, \sqrt[3]{t} \,.\, \sqrt[4]{\alpha}$$

fand ich $k = 5{,}755$

und $(xx) = 0{,}0160$

dagegen nach der Formel

$$c = k \,.\, \sqrt{t} \,.\, \sqrt[6]{\alpha}$$

$$k = 2{,}041$$

und $(xx) = 0{,}0148$

Also verdient auch in diesem Falle der letzte Ausdruck den Vorzug.

Ueber die Anwendung des vorstehend entwickelten Gesetzes müssen noch einige Bemerkungen hinzugefügt werden.

Zunächst ist daran zu erinnern, dafs selbst sehr starke Aenderungen in der Strömung nur in unmittelbarer Nähe einen merklichen Einfluſs auf die Bewegung des Wassers ausüben. Wenn ein enges Profil plötzlich in ein viel weiteres übergeht, wie etwa bei Wehren und Freiarchen geschieht, wo also die Geschwindigkeit, in der Richtung der Strömung gemessen, sich plötzlich sehr bedeutend vermindert, so bilden sich die innern Bewegungen übermäfsig aus, und geben sich auch durch ihre Wirkungen, nämlich durch

Auskolkungen und Uferbrüche deutlich zu erkennen. Der Erfolg derselben ist aber die Zerstörung der lebendigen Kraft, und in mäßigem Abstande bemerkt man schon wieder die regelmäßige Strömung, als ob eine Unterbrechung derselben gar nicht statt gefunden hätte. Im entgegengesetzten Falle, wenn das Profil sich plötzlich verengt, wie etwa, wenn der Fluß aus einem See austritt, muß freilich ein geringer Aufstau sich bilden, der dem engern Profile entsprechend die größere Geschwindigkeit dem Wasser mittheilt, aber diese bildet sich sehr schnell, und man sieht wieder, daß das Wasser nahe unterhalb des Eintritts in das neue Bette sich gleichförmig bewegt.

Die gleichförmige Bewegung setzt sich so weit fort, als der Flächeninhalt der Querprofile sich nicht wesentlich verändert, und diese Bedingung wird in natürlichen Flußbetten, und noch mehr, wenn durch Uferdeckung und Einschränkung eine künstliche Regulirung statt gefunden hat, sehr oft in langen Stromstrecken erfüllt. Mäßige Krümmungen sind dabei auch ohne Einfluß, während sehr scharfe Krümmungen, bei welchen das Wasser stark in die Convave gedrängt wird, eine Verengung und Verkleinerung des Profiles und sonach eine Vergrößerung der mittlern Geschwindigkeit zur Folge haben.

Endlich muß bei dieser Gelegenheit noch erwähnt werden, daß ein geringer Fehler in der Bestimmung des Gefälles keinen bedeutenden Einfluß auf die mittlere Geschwindigkeit hat. Da die Gefälle an sich meist sehr klein sind, so haben die Fehler derselben relativ schon geringe Werthe, und veranlassen daher keine starke Aenderung der berechneten Geschwindigkeiten. Wenn beispielsweise das relative Gefälle gleich 1 : 5000 angenommen wäre, während es wirklich 1 : 5500 beträgt, so würde der Fehler in der Bestimmung der mittlern Geschwindigkeit nur 1,6 Procent betragen. Nach der Eytelweinschen Formel würde er aber auf 10,5 Procent sich steigern.

In vielen Fällen wird man die vorstehend entwickelte Formel zur Bestimmung der Wassermenge benutzen und diese läßt sich leicht statt der mittlern Geschwindigkeit darin einführen. Man hat nämlich

$$m = c \,.\, b \,.\, t$$

wenn b die Breite bedeutet, die bei größern Strömen sehr nahe dem benetzten Umfange gleich ist. Hieraus ergiebt sich

$$m = 4{,}33 \cdot b \cdot t^{\frac{3}{2}} \cdot a^{\frac{1}{6}}$$

Bei Benutzung dieses Ausdrucks, so wie auch schon des früheren, der sich auf *c* bezieht, gelangt man zu unrichtigen Resultaten, wenn in dem Querprofil stellenweise die Tiefen sehr verschieden sind. Mäfsige Verschiedenheiten dieser Art fehlen nie, und sind daher bei Herleitung jener Ausdrücke auch bereits berücksichtigt, insofern sie in den zum Grunde gelegten Beobachtungen vorkamen. Wenn aber zum Beispiel der Strom die ausgedehnte Thalfläche nur wenig überfluthet, so darf man diese Seitenströmung nicht mit der im eigentlichen Strombette verbinden und die mittlere Geschwindigkeit beider berechnen. Das Bette sei 500 Fufs breit und im bordvollen Zustande, oder wenn das Wasser so eben die Thalfläche berührt, betrage die mittlere Tiefe 10 Fufs, während das relative Gefälle 1 : 6000 ist. Alsdann findet man die abgeführte Wassermenge

$$m = 20\,235 \text{ Cubikfufs}$$

Steigt nunmehr das Wasser noch um 1 Fufs höher, wodurch eine Thalfläche von 1500 Fufs Breite inundirt und überströmt wird, so ist der Flächeninhalt des ganzen Querprofiles 7000 Quadratfufs, seine Breite 2000 Fufs, also die mittlere Tiefe 3,5 Fufs. Wenn das Gefälle auch bei diesem höherem Stande dasselbe bleibt, wie früher, so ergiebt sich aus dem vorstehenden Ausdruck

$$m = 16\,170 \text{ Cubikfufs}$$

also um den fünften Theil weniger als früher, was augenscheinlich unrichtig ist. Die Wassermenge die zwischen den Ufern des eigentlichen Bettes fliefst, mufs nämlich sowol wegen der Vergröfserung des Profiles, als auch wegen der vermehrten Geschwindigkeit bedeutend zunehmen, und dazu kommt noch diejenige, die über die Thalfläche strömt. In solchem Falle ist daher eine Trennung beider Theile des Profiles geboten. Führt man diese ein, so ergiebt sich, dafs in und über dem Strombette 23 345 und über der Thalfläche noch 1915, also zusammen

25 260 Cubikfufs

abfliefsen.

Die gleichförmige Bewegung, wobei nach obiger Definition die mittlere Geschwindigkeit (in der Richtung des Stromes gemessen) dieselbe bleibt, findet jedesmal statt, wenn der Flächeninhalt der Querprofile sich nicht verändert, und keine neuen Wassermengen

hinzutreten, oder solche nicht durch Seitenabflüsse entzogen werden. Aendert sich die Wassermenge nicht, so bleibt aber auch c unverändert, sobald die Breiten b zu den mittleren Tiefen im umgekehrten Verhältnifs stehn.

Wird dagegen die Wassermenge vergröfsert oder vermindert, so nimmt sie wieder die frühere Geschwindigkeit an, sobald das Produkt

$$\sqrt{t} \cdot \sqrt[6]{\alpha}$$

eben so grofs ist, als es vor der Vereinigung oder Trennung war. Die relativen Gefälle müssen nur umgekehrt den dritten Wurzeln aus den mittlern Tiefen proportional sein. Man kann bei diesem Uebergange die Bewegung zwar nicht mehr als gleichförmig ansehn, wenn nicht etwa auch im Zufluſs oder Abfluſs dieselbe Geschwindigkeit statt findet, aber die Aenderungen des Gefälles, um gröfsere oder mindere Geschwindigkeiten darzustellen, sind sehr geringe. Die ganze Untersuchung zeigt überhaupt, dafs von dem Gefälle eines Stromes nur ein geringer Theil auf die Erhaltung der Geschwindigkeit in der Richtung des Stromlaufes verwandt wird, und der überwiegend gröfste Theil desselben, namentlich bei stärkern Gefällen nur immer die Bewegungen veranlafst, welche die lebendige Kraft zerstören. Wird das relative Gefälle, welches ursprünglich α war, nach und nach 2α, 3α, 4α und 5α während die mittlere Tiefe dieselbe bleibt, so vergröfsert sich die Geschwindigkeit c nur auf $1{,}12 \cdot c$ . . . $1{,}20 \cdot c$ . . . $1{,}26 \cdot c$ . . . und $1{,}31 \cdot c$, also in mäfsigem Grade.

§. 19.

Ungleichförmige Bewegung.

Indem bei Untersuchung der gleichförmigen Bewegung des Wassers in Strom- und Canalbetten noch manche erhebliche Zweifel blieben, so ist nicht zu erwarten, dafs die Gesetze, welche die ungleichförmige Bewegung bedingen, schon sicher aufgestellt werden können. Die allgemeinen hydrodynamischen Gesetze, wie sie

von Euler*) und Andern angegeben und durch Differenzial-Gleichungen ausgedrückt sind, bieten nicht nur grofse und oft unüberwindliche Schwierigkeiten in der Rechnung, wenn man sie auf bestimmte Fälle anwenden will, sondern aufserdem können sie auch nur dadurch brauchbar werden, dafs man die Kraft, womit die Wassertheilchen gegenseitig an einander haften, in Rechnung stellt, und auf diese Weise versucht, alle einzelnen Systeme der Bewegung, welche sich erfahrungsmäfsig wirklich bilden, mit dem Calcül zu verfolgen, und deren Zusammenhang und Einwirkung unter sich nachzuweisen. Eine solche Untersuchung ist so wenig vorbereitet, und erscheint auch so übermäfsig verwickelt, dafs man sich davon kein Resultat versprechen kann. Es bleibt daher nur übrig, gewisse einfache Combinationen zum Grunde zu legen und aus diesen andre, mehr complicirte zusammenzusetzen. Wenn dieser Weg, der allerdings leicht irre führen kann, mit gehöriger Vorsicht verfolgt und beständig an Beobachtungen angeschlossen wird, so erscheint er keineswegs verwerflich, er ist vielmehr der einzige der gegenwärtig einen Erfolg erwarten läfst. Man darf dabei jedoch nicht vergessen, dafs die Voraussetzungen, welche man einführen mufs, nur innerhalb gewisser Grenzen als richtig angesehn werden dürfen und der strengen mathematischen Schärfe entbehren.

Man hat in der That diesen Weg versucht, und auf demselben eine Aufgabe zu lösen sich bemüht, welche ohne Zweifel für den Strombau sehr wichtig ist, nämlich die der permanenten Bewegung des Wassers. Gleichförmig war diejenige Bewegung, wobei das Wasser, indem es das Strombette durchlief, seine mittlere Geschwindigkeit nicht veränderte, also gleich grofse Profile durchströmte. Ungleichförmig nennt man sie, wenn dieses nicht geschieht. Veranlassung hierzu giebt aber entweder das Strombette, indem dasselbe nicht regelmäfsig gestaltet ist, oder auch der veränderte Zufluſs. Im letzten Falle vergröfsert oder vermindert sich die Wassermenge. Ist diese constant, so wird dauernd jedes Profil

---

*) Euler machte diese Arbeiten in den neuen Commentarien der Petersburger Academie bekannt. Brandes hat sie übersetzt unter dem Titel: „Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper, dargestellt von Leonhard Euler, übersetzt von H. W. Brandes. Leipzig 1806.“

mit unveränderter Geschwindigkeit durchströmt, während die hintereinander liegenden Profile zwar dieselbe Wassermenge, aber mit verschiedenen Geschwindigkeiten abführen. Dieses ist die permanente Bewegung des Wassers. Bei ihr ist an jeder einzelnen Stelle des Stromlaufes die Geschwindigkeit, so wie auch alle sonstigen Umstände constant, weil das Wasser dauernd in gleicher Art zu- und abfliefst, und daher jedes einzelne Theilchen, wenn auch seine Geschwindigkeit sich gerade hier vergröfsert, oder vermindert, dennoch dieses Profil genau in derselben Weise durchläuft, wie die Wassermassen, die ihm vorangingen, oder ihm folgen. Jeder Wasserfaden, der den Weg der in ihm befindlichen Theilchen bezeichnet, nimmt daher eine constante Form an, und seine Richtung, sowie auch seine verschiedenen Querschnitte, welche umgekehrt der Geschwindigkeit an jeder einzelnen Stelle proportional sind, sind von der Zeit unabhängig und zeigen an keinem Punkte eine Veränderung. Diese Annahme stimmt mit der Erfahrung nicht ganz überein, insofern bei gröfsern Strömen, wo die Adhäsion des Wassers oder andre Kräfte ihren überwiegenden Einfluſs verlieren, eine periodische Schwankung oder eine Art von Wellenbewegung einzutreten pflegt. Nicht desto weniger kann man hiervon absehn.

Prony hat die Gesetze für diese Art von Bewegung nur im Allgemeinen angedeutet. Belanger *) ist, soviel mir bekannt, der Erste, der sie speciell angab, und ihm folgten Vauthier **), Coriolis ***) und Saint-Guilhem †). Im Allgemeinen stimmen diese sämmtlichen Untersuchungen darin mit einander überein, dafs man für jede Stelle des Stromlaufes dasjenige Gefälle sucht, welches sowol zur Ueberwindung der Widerstände, als auch zur Vergröfserung der Geschwindigkeit, wenn diese zunimmt, erforderlich ist. Indem man alsdann das Gefälle durch den Differenzial-Quotient $\frac{dh}{dl}$ ausdrückt, und sowol für h wie auch für die Geschwindigkeit die Wassertiefe an dieser Stelle einführt, so gelangt man zu einer

*) *Essai sur la solution numérique de quelques problèmes, relatifs au mouvement permanent des eaux courantes par Belanger.* Paris 1828.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1836. I. p. 241 ff. und 1836. II. p. 362 ff.

***) Ebendaselbst 1836. I. p. 314 ff.

†) Ebendaselbst 1838. I. p. 249 ff.

Differenzial-Gleichung, worin nur die Länge und die Tiefe vorkommt, also die Beziehung zwischen diesen beiden Gröfsen sich darstellt, da aber die Neigung der Sohle des Strombettes bekannt sein mufs, so ergiebt sich hieraus das Längen-Profil des Stromes, und bei der bekannten Wassermenge und Breite läfst sich hieraus auch die Geschwindigkeit an jeder Stelle finden.

Es mögen einige Aufgaben dieser Art hier gelöst werden unter Zugrundelegung der vorstehend mitgetheilten Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und dem relativen Gefälle bei gleichförmiger Bewegung. Zur möglichsten Vereinfachung der Rechnung wird dabei indessen vorausgesetzt, dafs die Breite des Flufsbettes constant und so grofs ist, dafs der benetzte Umfang ihr gleich gesetzt werden kann.

Ein Strom, dessen Wassermenge gleich m, dessen Breite b und dessen Tiefe t ist, enthält eine Strecke, in der bei gleicher Breite die Sohle des Bettes horizontal ist. In derselben wird augenscheinlich ein gewisses Gefälle sich gleichfalls bilden, also die Tiefe t wird immer geringer, oder die Geschwindigkeit c immer gröfser werden. Es fragt sich, welche Beziehung zwischen t und der Entfernung l von dem Punkte statt findet, wo die horizontale Sohle beginnt.

Wählt man willkührlich eine Stelle im Abstande l von jenem Punkte, so wird an derselben ein Gefälle α sich bilden müssen, welches theils die Widerstände überwindet und theils die nöthige gröfsere Geschwindigkeit erzeugt.

Zur Ueberwindung der Widerstände ist ein Gefälle erforderlich, welches sich ergiebt aus dem Ausdruck

$$c = \frac{1}{n}\sqrt{t}\,.\,\sqrt[6]{\alpha}$$

$$\alpha = \frac{dh}{dl} = \frac{c^6}{n^6\,t^3}$$

dh ist aber gleich $-dt$, indem die Sohle horizontal angenommen wird, und

$$c = \frac{m}{bt}$$

folglich

$$1) \quad \ldots \quad -\frac{dt}{dl} = \frac{m^6}{b^6\,n^6\,t^9}$$

Die Verstärkung des Gefälles, welche die nöthige Beschleunigung veranlafst, findet man aus der bekannten Gleichung

$$h = \frac{c^2}{4g}$$

$$dh = \frac{c\,dc}{2g}$$

$$2) \ldots - \frac{dt}{dl} = - \frac{m^2}{2g\,b^2\,t^3} \cdot \frac{dt}{dl}$$

das ganze relative Gefälle an dieser Stelle ist sonach

$$- \frac{dt}{dl} = \frac{m^6}{b^6\,n^6\,t^9} - \frac{m^2}{2g\,b^2\,t^3} \cdot \frac{dt}{dl}$$

Hieraus folgt

$$\frac{m^6}{b^6\,n^6}\,dl = \frac{m^2}{2g\,b^2}\,t^6\,dt - t^9\,dt$$

$$\text{also} \quad l = \left(\frac{n\,b}{m}\right)^6 \left(\frac{m^2}{14\,.\,g\,b^2}\,.\,t^7 - \frac{1}{10}\,t^{10}\right) + C$$

Im Anfange der horizontalen Strecke, wo $l = o$, ist $t = \tau$, daher hat die Constante den Werth des ersten Gliedes mit entgegengesetzten Zeichen und wenn τ für t eingeführt wird. Also

$$l = \left(\frac{n\,b}{m}\right)^6 \left[\frac{1}{10}\,(\tau^{10} - t^{10}) - \frac{m^2}{14\,.\,g\,b^2}(\tau^7 - t^7)\right]$$

Als Beispiel wähle ich einen Flufs, für welchen

$$m = 1200 \text{ Cubikfufs}$$
$$b = 200 \text{ Fufs}$$
$$\tau = 3 \text{ Fufs}$$

während der Zahlenwerth des Factors n nach den Untersuchungen, die früher mitgetheilt sind, sich auf $4\frac{1}{3}$ stellt. Der beim freien Fall in der ersten Secunde durchlaufene Raum oder $g = 15{,}632$. Die beiden Factoren findet man

$$\left(\frac{n\,b}{m}\right)^6 = 0{,}14191$$

$$\text{und} \quad \frac{m^2}{14\,.\,g\,b^2} = 0{,}16449$$

Aufserdem ist

$$\tau^{10} = 59047 \text{ und } \tau^7 = 2187{,}0$$

Berechnet man für verschiedene Werthe von t die betreffenden Potenzen, und führt diese in die vorstehende Gleichung ein, so ergeben sich für Tiefen, die von 3 Fufs nach und nach immer um 0,3

Fufs sich vermindern, die nachstehenden Entfernungen vom Anfangspunkte der horizontalen Strecke

$t = 3'$	$l = 0$
$t = 2{,}7$	$= 519{,}16$
$= 2{,}4$	$= 707{,}63$
$= 2{,}1$	$= 767{,}43$
$= 1{,}8$	$= 783{,}25$
$= 1{,}5$	$= 786{,}32$
$= 1{,}2$	$= 786{,}87$
$= 0{,}9$	$= 786{,}90$
$= 0{,}6$	$= 786{,}90$
$= 0{,}3$	$= 786{,}90$
$= 0$	$= 786{,}90$

Man bemerkt, dafs die Entfernungen zweier Punkte, zwischen denen die Tiefen sich um 0,3 Fufs vermindern immer kürzer werden, und die Tiefen von 1,2 Fufs und 0 schon auf dasselbe l also an dieselbe Stelle treffen. Diese Erscheinung erklärt sich sehr einfach durch das überaus starke Gefälle, welches schliefslich erforderlich ist, um die grofse Geschwindigkeit bei der verminderten Tiefe zu erzeugen, und um zugleich die starken Widerstände zu überwinden, welche diese Geschwindigkeit veranlafst.

Die Rechnung ergiebt sonach, dafs die Strömung in dem Abstande von 786,9 Fufs aufhört, und es dürfte dieses Resultat leicht als falsch erscheinen, weil offenbar auch über eine weiter ausgedehnte horizontale Strecke das Wasser noch abfliefsen kann. Der Rechnung sind indessen bestimmte Bedingungen in Betreff der abzuführenden Wassermenge und der Tiefe im Anfangspunkte zum Grunde gelegt, und diese lassen sich bei weiterer Länge nicht mehr erfüllen. Ergiefst sich die ganze vorausgesetzte Wassermenge des Stromes in eine horizontale Strecke von gröfserer Ausdehnung, so wird sich das zur Abführung erforderliche Gefälle dadurch bilden, dafs im Eintritt der Wasserspiegel sich erhöht, oder τ gröfser als 3 Fufs wird, was gegen die Aufgabe ist. Wenn aber andrerseits eine Erhebung des Niveaus nicht statt finden kann, also die Strecke etwa durch einen ausgedehnten See gespeist wird, worin der Wasserstand constant ist, so wird dennoch der Abflufs mit geringerem Gefälle statt finden. Hierdurch vermindert sich aber die Geschwin-

digkeit und die Strecke führt nicht mehr jene 1200 Cubikfufs ab, welche die Aufgabe forderte.

Demnächst mag der Fall untersucht werden, dafs in dem Flufse eine Strecke sich befindet, wo die Sohle in der Richtung der Strömung sehr stark geneigt ist, wo also eine Stromschnelle sich bildet. Diese Neigung der Sohle sei gleich β, während die Breite b wieder constant und der oberhalb stattfindenden gleich angenommen wird.

Beim Eintritt in diese Strecke wird die Geschwindigkeit sich vergröfsern, oder die Tiefe sich vermindern, und zwar so lange, bis die zunehmenden Widerstände die Beschleunigung vollständig aufheben, also bis

$$c = n \sqrt{t} \cdot \sqrt[6]{\beta}$$

oder

$$t = \left(\frac{m}{n\,b}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt[9]{\beta}}$$

Die geringste Tiefe ist hierdurch gegeben, und es kommt nur darauf an, für verschiedene t, die zwischen diesem Werthe und τ oder demjenigen vor dem Eintritt in die untersuchte Strecke liegen, die zugehörigen Längen l zu finden.

Die beiden relativen Gefälle $\frac{dh}{dl}$ an einem willkührlich gewählten Punkte behalten wieder die schon oben entwickelte Gröfse, und es ist auch in diesem Falle die Summe derselben zur Darstellung des Gefälles im Wasserspiegel zu nehmen, doch drückt sich dh nunmehr in andrer Weise aus. h zählt von einer durch den Wasserspiegel beim Eintritt in die geneigte Strecke gelegten Horizontalen abwärts, man hat daher für den zu untersuchenden Punkt, der von jenem Eintritt l Fufs entfernt ist

$$\tau + \beta l = t + h$$

daher

$$dh = \beta\, dl - dt$$

oder

$$\frac{dh}{dt} = \beta \frac{dl}{dt} - 1$$

folglich

$$\beta\, dl - dt = \frac{m^6}{n^6\, b^6} \cdot \frac{1}{t^9} \cdot dl - \frac{m^2}{2g\, b^2} \cdot \frac{1}{t^3}\, dt$$

also

$$dl = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{1 - \frac{m^2}{2g\, b^2} \cdot \frac{1}{t^3}}{1 - \frac{m^6}{n^6\, b^6} \cdot \frac{1}{\beta\, t^9}} \cdot dt$$

Oder, wenn $$\frac{m^2}{2g\,b^2} = A$$

und $$\frac{m^6}{n^6\,b^6\,\beta} = B$$

$$dl = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{1 - \frac{A}{t^2}}{1 - \frac{B}{t^9}} \cdot dt$$

Durch Ausführung der Division verwandelt sich der Bruch in die Reihe

$$1 - \frac{A}{t^3} + \frac{B}{t^9} - \frac{AB}{t^{12}} + \frac{B^2}{t^{18}} - \frac{AB^2}{t^{21}} + \frac{B^3}{t^{27}} - \ldots.$$

Indem man darauf Rücksicht nimmt, dafs dt negativ ist, so ergiebt die Integration nunmehr

$$l = \frac{1}{\beta}\left(-t - \tfrac{1}{2}\frac{A}{t^2} + \tfrac{1}{8}\frac{B}{t^8} - \tfrac{1}{11}\frac{AB}{t^{11}} + \tfrac{1}{17}\frac{B^2}{t^{17}} - \tfrac{1}{20}\frac{AB^2}{t^{20}} + \tfrac{1}{26}\frac{B^3}{t^{26}} - .\right) + C$$

Führt man noch die Bezeichnung ein

$$\frac{A}{t^2} = \varrho \qquad \frac{B}{t^8} = \sigma \quad \text{und} \quad \frac{B}{t^9} = \mu$$

so ergiebt sich

$$l = \frac{1}{\beta}\left[-t - (\tfrac{1}{2}\varrho - \tfrac{1}{8}\sigma) - (\tfrac{1}{11}\varrho - \tfrac{1}{17}\sigma)\mu - (\tfrac{1}{20}\varrho - \tfrac{1}{26}\sigma)\mu^2 - ..\right] + C$$

Wenn $l = o$, wird $t = \tau$, daher ist die Constante

$$C = \frac{1}{\beta}\left[\tau + (\tfrac{1}{2}\varrho - \tfrac{1}{8}\sigma) + (\tfrac{1}{11}\varrho - \tfrac{1}{17}\sigma)\mu + (\tfrac{1}{20}\varrho - \tfrac{1}{26}\sigma)\mu^2 + ...\right]$$

In diesem letzten Ausdruck müssen jedoch die Werthe für ϱ, σ und μ so verändert werden, wie dieses die Einführung von τ statt t verlangt.

Für gröfsere t und τ convergiren die Reihen sehr stark, wenn aber die t dem Mimimum sich nähern, so wird die Convergenz sehr schwach, und man mufs, um die einzelnen Zehntheile des Fufses richtig darzustellen, zehn bis funfzehn Glieder berechnen. Dieses bietet keine Schwierigkeit, insofern das Gesetz, nach welchem sowol die Coefficienten, wie die Exponenten sich verändern, klar ist. Die Rechnung läfst sich freilich noch erleichtern, indem man den Theil des Gefälles vernachlässigt, der die gröfsere Geschwindigkeit

darstellt, doch wird hiervon in der sehr ähnlichen folgenden Aufgabe passender die Rede sein, da diese für die Technik von viel gröfserer Bedeutung ist. Zunächst mag noch ein Beispiel der in Rede stehenden Aufgabe mitgetheilt werden.

Es sei wieder, wie im frühern Beispiel

$$m = 1200$$
$$b = 200$$
$$\tau = 3$$

das starke Gefälle in der Sohle der Stromschnelle betrage aber 1 : 50 oder

$$\beta = 0{,}02$$

Die mittlere Geschwindigkeit des Wassers beim Eintritt in die stark geneigte Strecke war 2 Fufs. Aus der obigen Formel

$$t = \left(\frac{m}{n\,b}\right)^{\frac{2}{3}} \sqrt[9]{\frac{1}{\beta}}$$

ergiebt sich $t = 1{,}9186$. Bei diesem Werthe von t wird also die Bewegung gleichförmig. Die Geschwindigkeit ist alsdann 3,1272, und dieses t bezeichnet die äufserste Grenze der abnehmenden Tiefen.

Man findet $A = 1{,}1514$
und $B = 352{,}33$

Die Werthe von ϱ, σ und μ enthalten die verschiednen zum Grunde gelegten t, so wie auch zur Bestimmung der Constante die ursprüngliche Tiefe $\tau = 3$, sie müssen daher in jedem Falle besonders berechnet werden. Die Constante ist gleich 152,87, und man findet die Längen l, die den verschiednen Tiefen entsprechen:

für	$t =$	2,9	Fufs	$l =$ 4,9	Fufs
	$=$	2,8	-	$=$ 9,8	-
	$=$	2,7	-	$=$ 14,7	-
	$=$	2,6	-	$=$ 19,6	-
	$=$	2,5	-	$=$ 24,6	-
	$=$	2,4	-	$=$ 29,9	-
	$=$	2,3	-	$=$ 35,3	-
	$=$	2,2	-	$=$ 41,2	-
	$=$	2,1	-	$=$ 48,2	-
	$=$	2,0	-	$=$ 58,0	-

Es ergiebt sich hieraus, dafs die Abstände der Punkte, in

welchen die Tiefen um gleiche Quantitäten abnehmen, immer gröfser werden, die Länge l in welcher die Verminderung der Tiefe aufhört, läfst sich aber nicht bestimmen, da das Niveau in allmähligen Uebergängen aus der Curve in die gerade Linie tritt. Eine asymptotische Annäherung darf man aber kaum voraussetzen, weil bei $l = 152{,}9$ der Uebergang unbedingt erfolgt ist. Für die Technik ist diese Unsicherheit von keiner Bedeutung, weil die Rechnung sich sicher führen läfst, so lange die Differenzen noch bemerkbar sind.

Schliefslich mufs noch ein dritter Fall untersucht werden, der in der angewandten Hydraulik von besondrer Bedeutung ist. Wenn man Behufs einer Mühlenanlage, oder auch vielleicht im Schiffahrts-Interesse, einen Flufs oder Bach durch ein Wehr aufstaut, so fragt es sich, wie hoch in den oberhalb belegenen Strecken der Wasserspiegel gehoben wird. Gemeinhin stellt man die Frage, wie weit aufwärts der Stau überhaupt eintritt, oder welche Ausdehnung die Stauweite hat. Man hat diese Aufgabe verschiedentlich, zum Theil unter Berücksichtigung einzelner Erfahrungen, zu lösen versucht, wovon später die Rede sein wird, sie läfst sich aber, wenn einfache Verhältnisse vorausgesetzt werden, auch nach den allgemein gültigen mechanischen Gesetzen beantworten, und zwar schliefst sie sich sehr nahe an die zuletzt behandelte Aufgabe an.

Indem in diesem Falle die Tiefen stromabwärts bis zum Wehre nicht kleiner, sondern gröfser werden, also die Geschwindigkeiten abnehmen, so verliert das Wasser beim Eintritt in jeden Querschnitt einen Theil seiner mittlern Geschwindigkeit, und dadurch wird eine gewisse lebendige Kraft frei, welche zur Ueberwindung der Widerstände mit verwandt wird. Das erforderliche relative Gefälle in jedem Querschnitt ist also nicht mehr die Summe, sondern die Differenz der Gefälle, welche zur Ueberwindung der Widerstände und zur Darstellung des Ueberschusses an Geschwindigkeit dienen, welcher letztere hier negativ ist.

Man denke im Anfangspunkt des Staues durch den Wasserspiegel eine Horizontale gezogen. Von dieser lothrecht abwärts zählen die Höhen h, die Längen λ werden aber gerechnet von dem Punkte, wo diese Linie den Wasserspiegel trifft, also von dem Anfange des Staues. Dafs letzterer unbekannt ist, kommt nicht in Betracht, da es sich hier nur um Differenziale handelt. Die Tiefe t

sei in demselben Anfangspunkte gleich T, welches also die frühere Tiefe des Flusses ist, und sie nehmen unmittelbar neben dem Stauwerke den Werth τ an. Alsdann hat man für ein beliebiges dazwischen liegendes Profil

$$t + h = T + \beta\lambda$$

folglich

$$dh = \beta d\lambda - dt$$

Die Bedingungsgleichung ist also

$$\beta - \frac{dt}{d\lambda} = \frac{m^6}{n^6\, b^6\, t^9} + \frac{m^2}{2g\, b^2\, t^3}\,\frac{dt}{d\lambda}$$

oder

$$\left(\beta - \frac{m^6}{n^6\, b^6\, t^9}\right) d\lambda = \left(1 + \frac{m^2}{2g\, b^2\, t^3}\right) dt$$

Um einen bestimmten Anfangspunkt für die Längen zu erhalten, werde dieser nunmehr in das Stauwerk verlegt, so dafs die Längen l stromaufwärts zählen. Alsdann ist

$$d\lambda = -\,dl$$

und man erhält

$$dl = -\,\frac{1}{\beta}\,\frac{1 + \dfrac{m^2}{2g\, b^2 . t^3}}{1 - \dfrac{m^6}{\beta\, n^6\, b^6 . t^9}} . dt$$

Setzt man wieder

$$\frac{m^2}{2g\, b^2} = A$$

und

$$\frac{m^6}{\beta\, n^6\, b^6} = B$$

und führt die Division aus, so erhält man

$$dl = -\,\frac{1}{\beta}\left(1 + \frac{A}{t^3} + \frac{B}{t^9} + \frac{AB}{t^{12}} + \frac{B^3}{t^{18}} + \frac{AB^2}{t^{21}} + \frac{B^3}{t^{27}} + ..\right) dt$$

also

$$l = \frac{1}{\beta}\left(-t + \tfrac{1}{2}\,\frac{A}{t^2} + \tfrac{1}{8}\,\frac{B}{t^8} + \tfrac{1}{11}\,\frac{AB}{t^{11}} + \tfrac{1}{17}\,\frac{B^2}{t^{17}} + ...\right) + C$$

Indem man nun wie früher

$$\frac{A}{t^2} = \varrho \qquad \frac{B}{t^8} = \sigma \qquad \text{und} \qquad \frac{B}{t^9} = \mu$$

setzt, so verwandelt sich der Ausdruck in

$$\text{I}\,..\,l = C + \frac{1}{\beta}\left(-t + (\tfrac{1}{2}\varrho + \tfrac{1}{8}\sigma) + (\tfrac{1}{11}\varrho + \tfrac{1}{17}\sigma)\mu + (\tfrac{1}{20}\varrho + \tfrac{1}{26}\sigma)\mu^2 + ..\right)$$

Die Reihe läfst sich bei dem regelmäfsigen Fortschreiten der Glie-

der, deren Coefficienten und Exponenten nach einem sehr auffälligem Gesetze ab- und zunehmen, leicht weiter fortsetzen. Die Constante C erhält man aber, da für $l = o$, $t = \tau$ wird, wenn man in diese Reihe τ für t einführt, die sämmtlichen Zeichen verändert und durch β dividirt.

Es muſs bemerkt werden, daſs man sehr nahe zu demselben Resultate gelangt, wenn man in vorstehender Herleitung das Glied, welches den Einfluſs der Schwere bezeichnet, also

$$\frac{m^2}{2g\,b^2\,t^3}$$

vernachlässigt. Die dadurch verursachten Fehler sind unbedingt viel kleiner, als die Unsicherheit, die bei Anwendung auf jede bestimmte Fluſsstrecke sich doch nicht umgehn läſst. Augenscheinlich ist die Fallhöhe, welche der Verminderung der Geschwindigkeit entspricht, auch so unbedeutend, daſs sie unbeachtet bleiben darf.

In diesem Falle findet man unter Beibehaltung der frühern Bezeichnungen

$$l = \frac{1}{\beta}\left(-t + \tfrac{1}{3}\sigma + \tfrac{1}{17}\sigma\mu + \tfrac{1}{26}\sigma\mu^2 + \tfrac{1}{35}\sigma\mu^3 + \ldots\right) + C$$

wodurch die Rechnung sich bedeutend erleichtert. Die Einführung von $\sigma = \mu t$ ist aber alsdann entbehrlich, da

$$\text{II}\ldots\ l = \frac{1}{\beta}\left(-1 + \tfrac{1}{3}\mu + \tfrac{1}{17}\mu^2 + \tfrac{1}{26}\mu^3 + \tfrac{1}{35}\mu^4 + \ldots.\right) t + C$$

Hiernach ist es nicht schwierig eine groſse Anzahl von Gliedern zu berechnen, was nöthig ist, sobald man die Abstände l für sehr geringe Aufstauungen $t - T$ sucht.

In gleicher Weise kann man auch ohne Nachtheil für die beiden vorhergehenden Aufgaben die Auflösungen vereinfachen.

Sollte es darauf ankommen zu wissen, bis zu welcher Entfernung vom Stauwerke noch sehr geringe und kaum wahrnehmbare Wirkungen vorkommen, so wäre man gezwungen bei Benutzung des einen oder des andern vorstehenden Ausdrucks eine sehr groſse Anzahl von Gliedern zu berechnen. Dieses vermeidet man, wenn man den geringen Aufstau

$$\vartheta = t - T$$

einführt. ϑ ist alsdann so klein gegen T, daſs die höheren Potenzen vernachlässigt werden dürfen und die obige Bedingungs-Gleichung verwandelt sich in

$$dl = -\frac{1}{\beta} \cdot \frac{1 + \frac{m^2}{2g\,b^2\,(T^3 + 3\,T^2\,\vartheta)} \cdot d\vartheta}{1 - \frac{m^6}{\beta\,b^6\,n^6\,(T^9 + 9\,T^8\,\vartheta)}}$$

T ist aber die Tiefe, bei der sich für das Gefälle β und für die Geschwindigkeit $\frac{m}{bT}$ die gleichförmige Bewegung darstellt, daher ist

$$\frac{m^6}{\beta\,b^6\,n^6\,T^9} = 1$$

Der Nenner wird daher

$$1 - \frac{1}{1 + 9\,\frac{\vartheta}{T}}$$

$$= \frac{9\,\frac{\vartheta}{T}}{1 + 9\,\frac{\vartheta}{T}}$$

Der Zähler ist

$$1 + \frac{m^2}{2g\,b^2\,T^3\left(1 + 3\,\frac{\vartheta}{T}\right)}$$

Bezeichnet man $\frac{m^2}{2g\,b^2\,T^3}$ durch D

und $-\frac{q}{T}$ durch r, so hat man

$$dl = -\frac{1}{\beta}\,\frac{1 + \frac{D}{1 + \frac{1}{3}r\vartheta}\,d\vartheta}{1 - \frac{1}{1 + r\vartheta}}$$

$$= -\frac{1}{\beta}\,\frac{(1 + D + \frac{1}{3}r\vartheta)(1 + r\vartheta)}{r\vartheta\,(1 + \frac{1}{3}r\vartheta)}\,d\vartheta$$

und wenn man die Division ausführt unter Fortlassung der höheren Potenzen von ϑ

$$dl = -\frac{1}{\beta}\left(\frac{1 + D}{r\vartheta} + 1 + \frac{2}{3}D - \frac{2}{3}Dr\vartheta\right)d\vartheta$$

$$\text{III.} \ldots . l = -\frac{1}{\beta}\left[\frac{1 + D}{r}\,\text{log. nat.}\,\vartheta + (1 + \tfrac{2}{3}D)\vartheta - \tfrac{1}{3}Dr\vartheta^2\right] + C \ldots$$

Obwohl dieser Ausdruck zur Rechnung sehr bequem ist, und für kleine Werthe von ϑ selbst das dritte Glied in der Parenthese

schon fortfällt, so läfst sich doch aus ihm die Constante C nicht bestimmen. Dieses ist auch natürlich, da er die ganze Stauhöhe nicht enthält, und die geringen Anstauungen, die hier berücksichtigt werden, sich in gleicher Art ausbilden, mag das Wehr näher und die Stauhöhe geringer, oder mag jenes entfernter und diese gröfser sein. Die gesuchte Entfernung vom Wehr oder l läfst sich nur finden, wenn man nach der obigen Formel I für ein möglichst kleines t das zugehörige l berechnet, und für dasselbe $t = T + \theta$ nach der letzten Formel die Rechnung wiederholt. Der Unterschied zwischen den beiden gefundenen Werthen von l ist alsdann die gesuchte Constante, mit deren Einführung man für jedes beliebig kleine θ die Entfernung vom Wehr finden kann.

Der in den beiden frühern Fällen beispielsweise gewählte Flufs ist für diesen Fall, wobei es sich um einen künstlichen Stau handelt, nicht passend, weil bei der vorausgesetzten Wassermenge, Tiefe und Geschindigkeit das Gefälle der Sohle nur 1 : 2793,1 betragen, und man wohl nicht leicht sich dazu entschliefsen würde, denselben aufzustaunen, weil er alsdann zu weit aufwärts aus den Ufern treten müfste. Ich wähle daher ein stärkeres Gefälle, nämlich

$$\alpha = \beta = 0{,}001$$

während $m = 1200$

$t = 2{,}5$

also $b = 221{,}54$

wobei im natürlichen Zustande

$$c = 2{,}1667$$

Aufserdem sei die Stauhöhe gleich 3 Fufs, oder

$$\tau = 5{,}5$$

Wendet man die Formel I an, so ist

$$A = 0{,}93842$$

und $B = 3814{,}7$

β behält auch denselben Werth, wenn man die Formel II benutzt, und man erhält mit Anwendung der einen und der andern die nachstehenden Werthe von l für verschiedene t

	nach I	nach II
für $t = 5$	$l = 504$	$l = 501$
4,5	1010	1002
4	1521	1507
3,5	2044	2021

	nach I	nach II
für $t = 3$	$l = 2618$	$l = 2580$
2,9	2752	2709
2,8	2917	2854
2,7	3086	3029
2,6	3352	3281

Es ergiebt sich hieraus, dafs die Resultate nur wenig von einander abweichen und man daher wohl ohne Nachtheil sich der bequemen Formel II bedienen darf, dabei mufs jedoch bemerkt werden, dafs die letzten Werthe von l, nämlich für $t = 2{,}6$, wobei also der Stau nur 0,1 Fufs beträgt, sich bis auf einen Fufs nur sicher finden liefsen, wenn fünfzehn Glieder der Reihe berechnet wurden.

Was demnächst die Formel III betrifft, die nur zur Berechnung der sehr kleinen Anschwellungen am obern Ende des Staues benutzt werden darf, und wobei die Hebung des Wasserspiegels gleich

$$\vartheta = t - T$$

ist, so findet man für dasselbe Beispiel

$$D = 0{,}06006$$

und $\nu = 3{,}6$

Man erhält aber für $\vartheta = 0{,}1$ also für $t = 2{,}6$ Fufs

$$l = 578 \text{ Fufs} + C$$

Indem für dasselbe t nach der Formel I $l = 3352$ Fufs gefunden wurde, so ist in diesem Falle

$$C = 2774$$

Unter Zugrundelegung dieses Werthes ist es leicht auch die zu kleinern Anstauungen gehörigen Abstände vom Wehre zu berechnen, und so findet man

für ϑ	$= 0{,}03$	$l = 3776$
	$= 0{,}01$	$= 4102$
	$= 0{,}003$	$= 4482$
	$= 0{,}001$	$= 4808$

Die Frage, bis zu welcher Entfernung l der Wasserspiegel überhaupt noch gehoben wird, oder wie grofs die Stauweite in aller Schärfe sei, läfst sich nicht beantworten, da der durch die Wehranlage gehobene Wasserspiegel asymptotisch in den frühern übergeht, wie dieses auch schon an sich sehr wahrscheinlich war. Es kommt

nur darauf an, diejenige Höhe des Staues zu bezeichnen, welche die Cultur der Umgebungen nicht mehr beeinträchtigt, und man darf diese wohl gleich 0,1 Fufs setzen, während sie in den meisten Fällen noch gröfser ist. Andrerseits braucht man auch den Abstand vom Wehr nicht bis auf einen Fufs genau zu berechnen, etwa 20 Fufs mehr oder weniger werden nicht leicht in Betracht kommen, und sonach empfiehlt sich die Formel II vorzugsweise zur Berechnung der Stauweiten, wobei man sich auf eine sehr mäfsige Anzahl von Gliedern beschränken darf.

Wesentlich verschieden von vorstehender Auffassung ist das Verfahren, wonach man bei uns die Stauweite zu berechnen pflegt. Dasselbe rührt von Dubuat her *), und beruht auf ganz unhaltbaren Vorstellungen, die man in spätern Lehrbüchern verschwiegen hat, indem nur das Endresultat, als wäre es durch die Erfahrung bestätigt, mitgetheilt wird.

Dubuat macht eben so, wie vorstehend geschehn, zur Vereinfachung der Aufgabe die Voraussetzung, dafs der Flufs von senkrechten und parallelen Ufern eingefafst, also seine Breite constant ist, sich auch beim Eintritt des Staues nicht ändert. An jeder Stelle ist also die mittlere Geschwindigkeit umgekehrt der Tiefe proportional. Indem nun die Tiefe in der aufgestauten Strecke stromabwärts zunimmt, so mufs in entsprechender Weise das Gefälle geringer werden, oder das Längenprofil des Flusses mufs eine Curve bilden, deren concave Seite nach oben gekehrt ist. Sie geht unstreitig im obern Anfangspunkte des Staues in den unveränderten Wasserspiegel des Flusses über, so dafs der letztere, im Längenprofile mit der an diesem Punkt der Curve gezogenen Tangente zusammenfällt. Eine zweite Tangente und zwar an das untere Ende der Curve stellt sich dar, wenn man an der Stelle, wo der Stau am gröfsten oder das Gefälle am kleinsten ist, also über oder unmittelbar vor dem Wehre das Gefälle aufsucht und in der Richtung desselben durch den Wasserspiegel eine gerade Linie zieht. Wenn die Curve ein Kreis wäre, so würden beide Tangenten, von ihrem gemeinschaftlichen Durchschnittspunkte ab gemessen, gleich grofs sein, und das Gefälle über diesem Durchschnittspunkte oder in der halben Länge der Stauweite müfste ungefähr das arithmetische Mittel

*) *Principes d'hydraulique. I.* §. 150—157.

aus dem natürlichen Gefälle des Flusses und dem Gefälle vor dem Wehre sein. Unter Voraussetzung eines willkührlich gewählten Beispiels und unter der Annahme, dafs das Wasser auch in diesem Falle noch den Gesetzen der gleichförmigen Bewegung folgt, berechnet Dubuat die Wassermenge, welche in dieser mittlern Stelle, wenn die Curve ein Kreisbogen wäre, abfliefsen würde. Er findet dieselbe etwa um den sechsten Theil gröfser, als sie der Rechnung zum Grunde gelegt war, und hieraus schliefst er, dafs die Curve wirklich kein Kreis, sondern eine andre Linie sei. Da diese aber weder eine Parabel noch eine Hyperbel sein könne, so meint er, sie sei ein elliptischer Bogen, und unter dieser Voraussetzung gelangt er zu dem Schlusse, dafs die Länge der obern Tangente zu der der untern sich wie 9 zu 10 verhalte. Indem aber beide sehr nahe mit der Horizontalen zusammenfallen, so soll man die Stauweite finden, wenn man im Punkte des höchsten Staues, also unmittelbar vor dem Wehre eine Tangente an den Wasserspiegel legt, und dieselbe bis dahin verlängert, wo sie den Wasserspiegel des Flusses in seinem natürlichen Zustande trifft, und die Länge derselben mit 1,9 multiplicirt.

Bei der Anwendung dieser Regel kommt es darauf an, das Gefälle, welches sich vor dem Wehre bildet, zu ermitteln. Eine unmittelbare Messung desselben kann nur vorgenommen werden, wenn der Stau bereits existirt. Gemeinhin kommt es aber darauf an, die Wirkung des Wehrs schon vor der Ausführung zu beurtheilen. Das Verfahren, welches man hierbei zu wählen pflegt, besteht darin, dafs man die Stauhöhe berechnet, und unter Zugrundelegung der Gesetze für die gleichförmige Bewegung des Wassers aus dem bekannten Querschnitt vor dem Wehre und aus der gegebenen Wassermenge das gesuchte Gefälle ableitet.

Eytelwein stellt in seinem Handbuche der Mechanik und Hydraulik unter Bezugnahme auf Dubuat dieselbe Regel zur Berechnung der Stauweite auf, ohne die eigenthümliche Begründung derselben zu berühren. Wendet man diese Berechnungsart auf das vorstehend gewählte Beispiel an, so ist zunächst das Gefälle für die Wassertiefe von 5,5 Fufs zu ermitteln, und dieses stellt sich, jenachdem man die Geschwindigkeit der zweiten oder der sechsten Wurzel des Gefälles proportional setzt, entweder auf

0,000021343
oder 0,000000828

diese sehr grofse Differenz hat indessen auf das Resultat wenig Einfluſs, denn die Stauweite stellt sich ziemlich übereinstimmend auf

5824 Fuſs,
oder 5705 Fuſs,

Sie ist in beiden Fällen viel gröſser als sie nach der obigen Berechnung selbst für sehr geringe Werthe von ϑ angenommen werden kann. Ich muſs dabei bemerken, daſs mir mehrere Fälle vorgekommen sind, wo nach der Ausführung von Wehren der Stau, so weit ein solcher bemerkt werden konnte, nicht entfernt die Grenze erreichte, welche die vorhergehenden Berechnungen ergeben hatten.

D'Aubuisson *) vereinfachte die Rechnung. Er bemerkte, daſs wenn β das ursprüngliche Gefälle des Flusses und α dasjenige vor dem Wehre, und H die durch letzteres verursachte Stauhöhe sei, die Stauweite nach Dubuat gleich

$$1{,}9 \cdot \frac{H}{\beta - \alpha}$$

sein würde. Indem aber α immer sehr klein gegen β ist, so könne man, wie er meinte, dieses unbeachtet lassen, also annehmen, daſs vor dem Wehre der Wasserspiegel in eine Horizontal-Ebne übergeht. Aufserdem dürfe man aber mit Rücksicht auf die Unsicherheit der ganzen Herleitung den constanten Factor gleich 2 setzen. So daſs die Stauweite

$$2 \frac{H}{\beta}$$

würde. $\frac{H}{\beta}$ ist aber nichts andres, als der sogenannte hydrostische Stau, nämlich der Abstand der Stelle von dem Wehre, wo die durch den Stau vor dem letztern gelegte Horizontale, das ursprüngliche Niveau des Flusses trifft. Für das gewählte Beispiel würde die Stauweite hiernach gleich 6000 Fuſs sein.

D'Aubuisson bemerkt dabei, daſs die in Rede stehende Aufgabe eigentlich gar nicht zu lösen sei, da Belanger schon nachgewiesen habe, wie der Spiegel eines aufgestauten Flusses keineswegs an einem bestimmt zu bezeichnenden Punkte, sondern vielmehr in asymp-

*) *Traité d'hydraulique*. Paris 1834. §. 144.

totischem Anschlusse in die unveränderte Oberfläche übergeht. Die vorstehenden Untersuchungen haben zu demselben Resultate geführt.

Nach Behandlung der Stauweite scheint es nöthig, auch über die Ermittelung der Stauhöhe, also der Erhebung des Wasserspiegels unmittelbar vor dem Wehre Einiges mitzutheilen. Die Bestimmung derselben ist vergleichungsweise sehr leicht. Der Wasserspiegel hebt sich so hoch über den Rücken des Wehrs, bis das Durchflufsprofil und die der Niveaudifferenz entsprechende Geschwindigkeit hinreichend grofs sind, um die ganze zufliefsende Wassermenge abzuführen. Die Schwierigkeit liegt nur in dem Contractions-Coefficienten, von dem es zweifelhaft sein kann, ob er in diesem Falle noch eben so grofs angenommen werden darf, wie er sich bei kleinen Seiten-Oeffnungen eines Gefäfses herausstellt. Wahrscheinlich nähert er sich immer um so mehr der Einheit, je gröfser das Profil im Verhältnifs zu dem durch das Wehr gesperrten Theile desselben ist. Die von Castel *) angestellten Untersuchungen haben für geringe Durchflufsprofile die Gröfse des Coefficienten und zugleich seine Abhängigkeit von manchen Umständen ergeben, ob man aber diese Resultate unmittelbar auf die Wehre in Flüssen und Strömen übertragen darf, ist zu bezweifeln. Nichts desto weniger verdienen sie mitgetheilt zu werden. Die Versuche bezogen sich sämmtlich auf den Fall, dafs der Unterwasserspiegel den Rücken des Wehrs nicht erreichte, und sonach ein freier Ueberlauf, oder wie man zu sagen pflegt, ein vollkommner Ueberfall stattfand. Bedeutet k den noch unbekannten Contractions-Coefficienten, b die Breite der Oeffnung und H den Wasserstand darüber, so ist nach dem früher entwickelten Ausdruck (Theil I. §. 14.) die überfliefsende Wassermenge, oder

$$M = \frac{4}{3} k b H \sqrt{(g H)}$$

Hiernach sollte man erwarten, dafs die Wassermenge theils der Breite der Oeffnung und theils der Quadratwurzel aus der dritten Potenz des Wasserstandes proportional sei. Das letzte fand in der

---

*) *Expériences sur l'écoulement de l'eau par des déversoirs faites à Toulouse par M. Castel: communiquées par d'Aubuisson. Annales des Mines III. Série. Tome XI.* 1837. *II.* — Die frühere Untersuchung von Castel ist in den *Annales des ponts et chaussées* 1837. I. p. 113 ff. mitgetheilt.

That statt, das erste jedoch nicht. War die Länge des Ueberfalls der Breite des Oberwassers gleich, so ergab sich $k = 0{,}665$ und verminderte sich auf 0,60 sobald der Ueberfall nur den dritten Theil jener Breite umfafste. Diese Abnahme erklärt sich auch, insofern die Seitenwände die Wasserfäden ablenken, wie man dieses bei starker Strömung an Brückenpfeilern jederzeit bemerkt.

Vor den Wehren ist jedoch das Oberwasser nicht stillstehend, sondern es tritt schon mit einer gewissen Geschwindigkeit an sie heran. Der Aufstau erzeugt also nicht die ganze zur Abführung des Wassers erforderliche Geschwindigkeit, er vergröfsert diese vielmehr nur soweit, dafs die Masse durch das verengte Profil abfliessen kann.

Die Breite des Flusses oberhalb des Wehrs sei B, seine mittlere Tiefe mit Einschluſs der Stauhöhe t, so ist die Geschwindigkeit des ankommenden Wassers

$$c = \frac{M}{Bt}$$

und dieser Geschwindigkeit entspricht die Druckhöhe

$$h = \frac{c^2}{4g}$$

Der Abfluſs über das Wehr erfolgt in gleicher Art, als wenn der Wasserstand darüber $H + h$ wäre, die obern Schichten aber bis zur Tiefe h zurückgehalten würden. Hiernach ist

$$M = \frac{4}{3}\, k\, b \sqrt{g} \left[\left(H + h \right)^{\frac{3}{2}} - h^{\frac{3}{2}} \right]$$

Dabei ist es freilich zweifelhaft, ob die Wasserschichten, die über das Wehr treffen, nur die mittlere Geschwindigkeit haben, auch ob die untern, deren Weg gesperrt ist, keinen Einfluſs auf den Stau ausüben. Aufserdem könnte es Bedenken erregen, dafs man die Druckhöhe h ohne Rücksicht auf die Contraction berechnet, wie dieses auch Weisbach gethan hat, während bei der ferneren Benutzung von h der Factor k eingeführt werden mufs. So lange aber die Geschwindigkeit des ankommenden Wassers nicht grofs ist, bleibt h so klein, dafs man es vielfach ganz vernachlässigen kann. Die angeregten Bedenken verlieren auch in diesem Falle um so mehr ihre Bedeutung, als die Rechnung schon in andrer Beziehung keine grofse Schärfe haben kann.

Besonders wichtig ist die richtige Wahl des Contractions-Coefficienten. Alle Beobachtungen, aus denen derselbe für diesen Fall hergeleitet wurde, sind nur in sehr kleinem Maafsstabe angestellt, und die Vermuthung liegt nahe, dafs er einen um so gröfsern Werth annimmt, je breiter und tiefer die Durchfluſs-Oeffnung über dem Wehre ist.

In neuster Zeit hat der Kunstmeister Bornemann in Freiberg sehr sorgfältige Messungen über den Effect unvollkommner und vollkommner Ueberfälle angestellt *), wobei die Wassermengen 3 bis 7 Cubikfufs betrugen und die Ueberfälle $3\frac{1}{2}$ Fufs breit waren. Aus denjenigen Messungen die sich auf vollkommne Ueberfälle beziehn, habe ich nach vorstehenden Formeln die mittleren Werthe von k und deren wahrscheinliche Fehler berechnet. Ich fand für die verschiedenen Reihen

Reihe	Anzahl Beobachtungen	k	wahrsch. Fehler
I	8	0,639	0,016
II	6	0,635	0,008
III	9	0,640	0,013
IV	13	0,685	0,046

Der Verfasser bezeichnet selbst die Reihen II und IV als weniger sicher. Der Werth von k stellt sich also auf 0,64.

Um die Stauhöhe eines beabsichtigten vollkommnen Ueberfalls zu berechnen, welche der Summe von H und der Höhe des Wehrrückens über dem bisherigen Wasserspiegel gleich ist, geht man zunächst von der Formel

$$H = \left(\frac{3 \,.\, M}{4 \,.\, k\, b \sqrt{g}}\right)^{\frac{2}{3}}$$

aus. Wenn man schärfer rechnen will, so benutzt man diesen Werth von H zur Ermittelung der Wassertiefe t vor dem Wehre, bestimmt hieraus c und h und findet endlich

$$H = \left(\frac{3 \,.\, M}{4 \,.\, b\, k \sqrt{g}} + h\sqrt{h}\right)^{\frac{2}{3}} - k$$

D'Aubuisson vergröfsert die Druckhöhe in andrer Art,

*) Der Civilingenieur, Jahrgang XVI.

um den Ausdruck unter eine etwas einfachere Form zu bringen, und nimmt an, dafs

$$M = kbH\sqrt{\left(\frac{16}{9}gH + c^2\right)}$$

sei, was sich jedoch nicht rechtfertigt.

Was hier über die Stauhöhe gesagt ist, bezieht sich auf den Fall, dafs das Unterwasser den Wehrrücken nicht erreicht, wenn das Unterwasser dagegen höher steht, als der Wehrrücken, so bildet sich ein sogenannter unvollkommener Ueberfall, und man mufs alsdann darauf Rücksicht nehmen, dafs das vorstehende H die Niveaudifferenz zwischen dem Ober- und Unterwasser bezeichnet. Derjenige Theil der Wassermasse, die über dem Unterwasser austritt, bildet einen vollkommenen Ueberfall und ist den vorstehenden Andeutungen gemäfs zu berechnen. Zwischen dem Unterwasserspiegel und dem Wehrrücken strömt aber aufserdem noch das Wasser unter gleichem Drucke fort, also mit einer Geschwindigkeit, die der erwähnten Niveaudifferenz als Druckhöhe entspricht. Bei starken Anschwellungen pflegen die Wehre sich in unvollkommne Ueberfälle zu verwandeln, und die Hemmung des Wasserabflusses, die sie verursachen, wird mit der Zunahme des Wasserstandes immer unbedeutender, man darf daher bei Untersuchung dieses Falles die Geschwindigkeit, mit der das Wasser vor dem Wehre ankommt, nicht unberücksichtigt lassen.

Auch durch Verengung des Strombettes können Anstauungen hervorgebracht werden, welche mit denjenigen, die durch Wehre verursacht sind, in ihren Wirkungen übereinstimmen. Wenn das Wasser nämlich in einem unbeschränkten Strome bisher frei abfloſs, später aber durch Einbaue das Profil beschränkt wird, so wird die bisherige Geschwindigkeit nicht mehr zur vollständigen Abführung des Wassers genügen. Dieselbe mufs also vergröfsert werden, damit auch an dieser Stelle der Abfluſs dem Zuflusse gleich wird, oder der Beharrungsstand eintritt. Dieses kann nur dadurch geschehn, dafs das ankommende Wasser aufgehalten wird, und anschwillt, bis durch diese Anschwellung diejenige Druckhöhe sich erzeugt, welche die Geschwindigkeit so vergröfsert, dafs alles hinzuströmende Wasser abgeführt wird. Wenn man die ursprüngliche, so wie auch die spätere Geschwindigkeit als bekannt voraussetzt,

so ist die durch den Einbau verursachte Stauhöhe gleich der Differenz der beiden zu diesen Geschwindigkeiten gehörenden Druckhöhen, wobei aber zugleich auf die Vergrößerung der Wassertiefe in Folge dieses Staues Rücksicht zu nehmen ist. Diese Rechnung ist so einfach, daſs nicht näher darauf eingegangen werden darf.

Fünfter Abschnitt.

Regulirung der Ströme.

§. 20.

Zweck der Stromregulirung.

Es ist schon erwähnt, dafs die Ströme im natürlichen Zustande fortwährenden Veränderungen unterworfen sind. Durch das Abbrechen des einen und das Anwachsen des andern Ufers verlegt sich das Strombett nach und nach auf andre Stellen des Flufsthales. Die Serpentinen, welche sich darin bilden und sich wieder selbst zerstören, tragen zu dieser fortwährenden Umgestaltung des Stromlaufes wesentlich bei, und dieser Wechsel übt wieder auf das ganze Flufsthal den vortheilhaften Einflufs aus, dafs eine ziemlich gleichmäfsige Erhöhung desselben stattfindet. Sollten einzelne seitwärts gelegene Stellen des Thales besonders tief sein, so ziehn sie vermöge ihrer niedrigen Lage die Strömung des Hochwassers vorzugsweise an, und geben dadurch zu einer verstärkten Ablagerung des Materials und sonach zu ihrer eigenen Erhöhung Veranlassung.

Vielfach wird das Stromthal theilweise in einen Sumpf verwandelt, ohne dafs eine künstliche Anlage daran schuld ist, es geschieht aber viel häufiger, dafs dergleichen Versumpfungen durch den Einflufs der Bodencultur oder andrer Anlagen veranlafst werden. Schon die Versumpfung der Thäler durch Stauwerke gehört hierher, ferner die starke Ablagerung desjenigen Materials, welches die Seitenzuflüsse in Folge der Zerstörung ihres natürlichen Uferschutzes dem Hauptstrome zuführen. Selbst die Entblöfsung und Auflockerung der cultivirten Ackerfläche in Verbindung mit den Anlagen, welche die schnelle Abführung des Wassers von derselben bezwecken, ist dabei von grofsem Einflufs. Der wichtigste Umstand, der hier in Betracht kommt, bezieht sich aber darauf, dafs man die Thalfläche, welche möglichst nutzbar gemacht werden soll, nicht mehr

der Veränderung, welche bisher darin vorging, preisgiebt, sondern die Ufer zu fixiren sucht. Die Veränderungen des Strombettes werden dadurch keineswegs ganz aufgehoben, sondern nur in ihrer bisherigen Regelmäfsigkeit gestört. Die frühere ziemlich gleichmäfsige Ablagerung des Materials auf der ganzen Thalfläche wird alsdann behindert, und vollends unmöglich, wenn durch hohe wasserfreie Dämme einzelne Theile des Thales dem unmittelbaren Zutritt des Hochwassers verschlossen werden. Der Strom führt nach wie vor Material mit sich, und erhöht das Bette und zugleich denjenigen Theil der Thalfläche den er erreichen kann. Die abgeschlossenen Flächen hören aber auf anzuwachsen, und nehmen dadurch vergleichungsweise zu der übrigen Thalfläche und zugleich auch zum Strombette eine immer tiefere Lage ein, so dafs ihre natürliche Entwässerung erschwert oder auch wohl ganz aufgehoben wird.

Bei dem überwiegenden Einflufs, den die Cultur des Bodens auf die Bewohnbarkeit und den Reichthum der Landschaft ausübt, mufs man die Beförderung der Vorfluth, oder die Verhinderung solcher Versumpfungen als den wichtigsten Zweck der Stromregulirung ansehn. Dieser Zweck läfst sich, wie die Erfahrung vielfach gezeigt hat, in den meisten Fällen erreichen. Indem durch gehörig angeordnete Strombauwerke die Ablagerung des Materials im Bette selbst, und durch Benutzung der Strömung des Hochwassers, diese Ablagerung auch neben dem Bette verhindert wird, gelingt es nicht nur, dem Strome die tiefe Lage zu erhalten, sondern man hat in manchen Fällen selbst mehr, als nöthig und wünschenswerth war, eine Senkung desselben hervorgebracht. Dafs eine solche bei fortgesetzter Hinwirkung auf denselben Zweck ununterbrochen zunehmen sollte, ist aber zweifelhaft und mit allen sonstigen Erscheinungen im Widerspruch. Die Senkung kann, wie die Erfahrung lehrt, halbe Jahrhunderte hindurch langsam zunehmen, aber sie mufs aufhören, sobald die einzelnen stellenweisen Verflachungen des Strombettes, welche bisher den Wasserabflufs hemmten, beseitigt sind. Ist dieses geschehn, so ist ein weiterer Erfolg dieser Art nicht mehr zu erwarten, und das aus den obern Gegenden immer aufs Neue vom Strome herbeigeführte Material mufs nunmehr wieder eine gleichmäfsige allmählige Erhöhung des Bettes und der dem Hochwasser noch zugänglichen Ufer veranlassen, wodurch der Wasserspiegel im Gegensatze zur früheren Erscheinung wieder zu steigen

anfängt. Man hat diesen Erfolg wohl noch nie in einem regulirten Strome wahrgenommen, aber eben weil die Grundsätze der Stromregulirung erst in neuerer Zeit einige Sicherheit erlangt haben, und die frühern Versuche grofsentheils mifsglückt sind, so konnte der letzte Erfolg sich bisher noch nicht zeigen. Vorläufig kann man wohl erwarten, dafs bei weitem die Mehrzahl unsrer Ströme sich noch senken läfst, wenn man hierauf überhaupt hinwirken will. Auch selbst da, wo durch vollständige Eindeichung der Stromthäler eine besorgliche Erhöhung der Betten erzeugt ist, welche nicht nur die natürliche Entwässerung der Ländereien unmöglich macht, sondern einen Einbruch des Stromes in die tiefliegenden Flächen zur Seite befürchten läfst, dürfte ein regelmäfsiger Strombau vorläufig noch wesentlich zur Verbesserung der Verhältnisse beitragen.

Wenn man die Abführung des Wassers im Strome befördern will, so mufs man auch die Anschwellungen, welche durch Eisstopfungen verursacht werden, zu verhindern suchen. Letztere sind theils an sich schädlich, hauptsächlich aber durch die Strömungen, welche aus dem gesperrten Strombette seitwärts über die Felder einen Ausweg suchen. Diese reifsen stellenweis den Boden auf und bedecken andrerseits wieder die Aecker und Wiesen mit Sand und Kies, so dafs deren Ergiebigkeit auf eine lange Reihe von Jahren und oft auf immer zerstört wird. Die Bildung der Eisstopfungen ist zum Theil vom Zufall abhängig, jedenfalls wird sie aber sehr befördert durch scharfe Krümmungen und Verengungen oder Verbreitungen der Profile, und in Folge der letzten auch durch mangelnde Tiefe des Stromes. Dabei ist aber nicht nur das eigentliche Strombette, sondern vorzugsweise das ganze Thal in Betracht zu ziehn, welches das Hochwasser abführt. Sehr wichtig sind dabei die Eindeichungen, die vielfach schon in frühester Zeit eine ganz unpassende Lage erhalten haben, und deren Beseitigung oder Verlegung gemeinhin übermäfsige Schwierigkeiten bietet.

Indem die Stromregulirung den Zweck hat, dem Bette und den Ufern diejenige Gestalt und Richtung zu geben, welche den verschiedenen Interessen am besten entspricht, so folgt hieraus, dafs man den dargestellten Zustand des Stroms auch fixiren und ihn vor spätern Aenderungen sicher stellen mufs. In dieser Beziehung ist es nothwendig, den Uferabbrüchen zu begegnen. Die Regulirung einer einzelnen Stelle ist, wie die Erfahrung häufig gezeigt

hat, ohne Zweck, wenn ober- und unterhalb derselben starke Abbrüche eintreten und dadurch der Stromlauf sich wieder so wesentlich verändert, dafs der gehörige Anschlufs an die corrigirte Stelle aufhört.

Es ist schon früher davon die Rede gewesen, dafs die Beschaffenheit des Ufers auf den Abbruch desselben von wesentlichem Einfluss ist, je weniger Zusammenhang die Erdtheilchen unter sich haben, um so leichter werden sie vom Wasser gelöst und um so rascher erfolgt der Uferabbruch.

Durch die Deckung der Ufer wird noch der Vortheil erreicht, dafs die angrenzenden Fluren gegen Abbruch geschützt werden. Dieser Umstand ist in manchen Fällen von geringer Bedeutung. Wo nämlich der Strom oder Flufs keine Grenze des Besitzthums bildet, und etwa die beiderseitigen Ufer gemeinschaftliche Viehweide sind, da ist es von wenig Einflufs, ob das Ufer an einer Seite abbricht, insofern es in gleichem Maafse auf der andern Seite wieder anzuwachsen pflegt, und die frühere Breite des Flusses sich von selbst darstellt. Es erfolgt also im Ganzen kein Verlust an nutzbarer Fläche und der geringe Uebelstand, dafs das neue Ufer in den ersten Jahren noch kahl und sonach nicht nutzbar ist, steht mit den Kosten der Uferdeckung in keinem Verhältnifs. Wenn dagegen der Flufs die Grenze zwischen zwei Besitzungen bildet, so liegt es freilich im Interesse des Eigenthümers das angegriffene Grundstück zu schützen, doch gemeinhin ist der zunächst in Aussicht stehende Verlust vergleichungsweise zu den Kosten des Baues sehr geringe, woher letzterer nicht leicht und an gröfsern Strömen Seitens der Privat-Besitzer und Communen fast niemals zur Ausführung kommt.

Wie wenig ein solcher Bruch im ersten Entstehn auf den ganzen Stromlauf von Einflufs sein mag, so zeigt er dennoch sehr nachtheilige Folgen, sobald das Ufer immer weiter zurückweicht. Eine regelmäfsige Stromstrecke kann hierdurch so verdorben werden, dafs das allgemeine Interesse dabei endlich leidet, und der Bau, der mit Rücksicht auf seinen Zweck ursprünglich nur Uferbau gewesen wäre, wird Strombau. Es ist natürlich, dafs durch diesen Umstand die Bereitwilligkeit des Uferbesitzers zur Ausführung des Baues noch vermindert wird, indem er schon beim ersten Beginn

des Bruches die Hoffnung hegt, das nach einiger Zeit der Staat den Bau übernehmen mufs, und dadurch das Besitzthum, wenn auch vielleicht in etwas geringerer Ausdehnung, gegen weitere Zerstörung sicher gestellt werden wird.

Ein dritter Umstand, der oft und bei grofsen Strömen sogar am häufigsten die Regulirung veranlafst, ist das Schiffahrts-Interesse. Soweit das Strombette dabei in Betracht kommt, erfordert die Schiffahrt vorzugsweise eine hinreichende Wassertiefe, zugleich aber mufs das Fahrwasser die gehörige Breite haben und von scharfen Krümmungen frei sein. Endlich dürfen zu heftige Strömungen oder förmliche Wasserstürze darin nicht vorkommen. Diese Anforderungen sind nur zum Theil mit denjenigen, welche die Entwässerung des Flufsthales betreffen, zu vereinigen. Eine Untiefe, welche sich an einer Stelle bildet, ist in beiden Beziehungen nachtheilig. Ebenso wird durch grofse Verbreitung oder durch Spaltung des Stromes die Tiefe vermindert, und zugleich werden die Ufer bedroht. Die Zurückführung der Breite auf angemessene Grenzen ist also in jeder Beziehung nothwendig. Wenn man aber auf grofse Strecken, welche starkes Gefälle enthalten, zur Beförderung des Abflusses die Vertiefung des Bettes bewirken will, so kann dadurch leicht der Wasserstand so gesenkt werden, dafs die oberhalb belegene Strecke für den Betrieb der Schiffahrt zu seicht wird. Dasselbe tritt auch zuweilen ein, wenn man durch Geradleitung des Stromes eine starke Verkürzung seines Laufes bewirkt.

Schon bei Gelegenheit der Entwässerungen (Theil I. §. 25.) ist nachgewiesen, welcher wesentliche Nutzen aus der Abkürzung des Stromlaufes in Bezug auf die Senkung des obern Wasserspiegels erreicht werden kann, aber gerade derselbe Umstand, der für die Entwässerung so nützlich ist, kann leicht für die Schiffahrt schädlich werden. Dieses geschieht, wenn die Niveau-Differenz zwischen der obern und untern Strecke, die durch den Durchstich verbunden werden, sehr bedeutend und die Wassertiefe in der erstern nur mäfsig ist. Alsdann treten in dieser leicht Untiefen auf, die früher hinreichend tief unter Wasser lagen.

Eine Krümmung des Fahrwassers ist für die Schiffahrt nachtheilig, wenn sie so scharf ist, dafs das Schiff nur mit Mühe hindurch gebracht werden kann. So geschah es an der obern Lippe

zuweilen, dafs die Schiffe mit dem vordern und zugleich mit dem hintern Ende das eine Ufer, und in ihrer Mitte das gegenüber liegende berührten.

Aufser den beiden erwähnten Gründen giebt es noch andre, die zuweilen die Geradleitung eines Stromes wünschenswerth erscheinen lassen. Der Gewinn an kulturfähiger Fläche wird oft als sehr wichtig angesehn, wenn der alte Stromlauf viel länger, als der neue ist. Dieser Gewinn tritt aber gemeinhin erst nach einer langen Reihe von Jahren ein. Neben dem Rhein findet man noch jetzt manche alte Arme, die seit hundert Jahren und darüber aufgehört haben, eigentliches Strombett zu sein. In ihrer obern Mündung erfolgte die Verlandung ziemlich schnell, auch an der untern blieb sie nicht aus, aber der mittlere Theil des Laufes, der dadurch dem freien Zutritte des Wassers und dem Eintreiben der erdigen Theile entzogen wurde, hat beinahe unverändert seine ursprüngliche Gestalt behalten. Der Bislicher Durchstich dicht oberhalb Xanten wurde 1790 ausgeführt, und der alte Arm liegt wenigstens zur Hälfte seiner Länge noch unter Wasser.

Die Schwierigkeit der Erhaltung der Ufer in starken Stromkrümmungen giebt endlich noch zuweilen Veranlassung zur Ausführung von Durchstichen, man darf jedoch nicht erwarten, dadurch der Uferdeckung enthoben zu sein. Bei dem starken Gefälle, welches sich gewöhnlich im Durchstiche bildet, werden seine Ufer leicht in Abbruch gesetzt. So erforderte der Bislicher Durchstich am Rhein sogleich sehr ausgedehnte Deckungs-Arbeiten, und ein andrer Durchstich im Preufsischen Antheile des Rheins, der sogenannte Büdericher-Canal neben Wesel, der schon 1785 gegraben wurde, aber wegen der geringen Verkürzung des Stromlaufes erst sehr spät sich zum Hauptarme ausbildete, hat eine zusammenhängende Deckung der Ufer erforderlich gemacht, die gewifs viel kostbarer geworden ist, als wenn man das alte bedrohte Ufer unmittelbar gedeckt hätte. Unterläfst man aber die Sicherstellung der neuen Ufer, so erzeugen sich bald wieder dieselben Unordnungen, die man beseitigen wollte. Minard erzählt, dafs der Oise beim Dorfe Thourotte ein gerader Lauf gegeben wurde, der sich aber nicht erhielt, die Oise griff wieder die Ufer des neuen Bettes an, und zerstörte sie dermaafsen, dafs sie endlich durch fortgesetzten Abbruch in ihr altes Bette zurückkam.

Die erwähnten Umstände, verbunden mit der in solchen Fällen immer wiederholten, wenn auch nicht nachgewiesenen Behauptung, dafs auch unterhalb der Durchstiche die Strömung verstärkt werde, lassen es bedenklich erscheinen, in einem grofsen Strome eine Geradleitung vorzunehmen. Es können freilich Fälle vorkommen, wo der Nutzen eines solchen Unternehmens in Bezug auf die Entwässerung und Culturfähigkeit der angrenzenden Ländereien überwiegend ist, aber immer wird es nöthig sein, die erwähnten Rücksichten sorgfältig in Betracht zu ziehn. Ein grofsartiges Beispiel einer solchen Anlage bietet die lange Reihe von Durchstichen am Oberrhein, welche seit 1817 in Baden und Baiern ausgeführt sind. Die nähere Beschreibung derselben soll später, wenn von der Ausführung der Durchstiche die Rede ist, mitgetheilt werden, hier bemerke ich nur, dafs das relative Gefälle des Rheins weder in den Stromkrümmungen, noch in den Durchstichen bedeutend war, woher sich weder eine heftige Strömung, noch auch eine für die Schiffahrt nachtheilige Senkung des Wasserspiegels darstellte.

Was die Beseitigung der Untiefen im Strombette betrifft, so darf man nicht hoffen, sie durch künstliche Aufräumung dauernd zu beseitigen. Besteht die Verflachung aus demselben Material, welches der Strom mit sich führt, und wird die Ursache nicht aufgehoben, welche die Ablagerung desselben stellenweise veranlafste, so wird beim nächsten Hochwasser oder bei andrer Veranlassung die flache Stelle in gleicher Weise sich wieder ausbilden, wie sie früher bestand. Wenn dagegen das Bette durch vorragende Felsen, oder durch besonders grofse Steinblöcke oder Baumstämme u. dergl. gesperrt wurde, so darf man sich von der Aufräumung einen dauernden Erfolg versprechen. Dasselbe geschieht auch, wenn man durch andre Anlagen die Richtung des Stroms gleichzeitig verändert und denselben in das künstlich eröffnete Fahrwasser leitet. Hat man dabei nicht nur die Strömung des kleinen Wassers, sondern auch die des Hochwassers gehörig berücksichtigt, so wird die ausgebaggerte Rinne sich nicht nur erhalten, sondern auch verbreiten und vertiefen und sich zum eigentlichen Stromschlauche ausbilden. Man kann durch Eröffnung solcher Rinnen die Wirksamkeit der andren Strom-Regulirungswerke aufserordentlich befördern.

Diese Verhältnisse werden oft nicht richtig beurtheilt. Besonders trugen die Nachrichten in den öffentlichen Blättern über die

Schiffbarmachung der Clyde viel dazu bei, dafs man in Deutschland glaubte, der Nutzen der bloſsen Ausbaggerung eines Flusses sei in diesem Falle bereits erprobt worden. Baggermaschinen wurden freilich hierbei auch angewendet, und vielleicht gerade hier zum ersten Male mit Benutzung der Dampfkraft in einem vorher noch nie versuchten Maafsstabe. Nichts desto weniger diente die Baggerung nur dazu, um das künstlich gebildete Strombett von einzelnen sehr fest abgelagerten Bänken frei zu machen. Die Hauptsache beim ganzen Unternehmen war, wie Telford dieses ausführlich beschreibt, die Einschränkung und Verstärkung des Stroms durch neue Ufer. Hierdurch allein wurde dem Wiedererscheinen der Untiefen vorgebeugt, und der Strom selbst wirkte sogar viel kräftiger auf die Vertiefung seines Bettes hin, als die Baggermaschinen. Da Beispiele aus England vielfach als besonders beachtungswerth angesehn werden, so will ich ein solches über die Baggerung der Themse vor Woolwich nach der Mittheilung in Nautical Magazin *) anführen. „Es ist eine auffallende Thatsache, dafs die Baggerung der Themse vor Woolwich in den Jahren 1808 bis 1816 die enorme Summe von 125000 Pfund Sterling gekostet hat, und dennoch der Strom in demselben schlechten Zustande blieb, wie früher. Der Schlamm und feine Sand häuft sich sogar immer mehr an, statt abzunehmen. 1816 allein wurden hierzu 29000 Pfund, und es werden noch jährlich im Durchschnitt 16000 Pfund verausgabt, ohne dafs man einen Erfolg wahrnehmen kann.“

In stehendem Wasser, wo die Ursache zur Bildung der Untiefen fehlt, oder so geringe ist, dafs sich die Tiefe nur sehr langsam vermindert, ist die Baggerung von dauerndem Erfolg, in Strömen aber, in welchen eine gewisse Tiefe und stellenweise sogar eine überflüssige Tiefe sich immer von selbst darstellt, mufs man das regelmäfsige Strombett durch die Benutzung der Kraft des Stromes selbst darstellen, und dieses geschieht, indem man diejenigen Umstände entfernt, welche bisher an einzelnen Stellen die Bildung einer hinreichenden Tiefe verhinderten. Die Aufgabe besteht also

---

*) *Nautical Magazine.* Juli 1840, auch abgedruckt in *Brooks Treatise on the improvement of the navigations of Rivers.* London 1841.

darin, den Strom so zu leiten, dafs er selbst die gewünschte Tiefe oder sonstige Gestaltung seines Bettes erzeugt.

Sobald man indessen eine Untiefe beseitigt und eine regelmässige, gehörig breite und tiefe Rinne darstellt, so tritt sogleich der Erfolg ein, dafs der Wasserspiegel in der obern Strecke sich etwas senkt. Indem aber diese Rinne an Wirksamkeit zunimmt, jemehr ihr Querprofil dem ganzen Profile des Stromes sich nähert, so folgt daraus wieder, dafs diese Senkung sich vorzugsweise bei kleinem Wasser zu erkennen geben wird, also gerade in der Zeit, wenn die Verminderung der Wassertiefe für die Schiffahrt am nachtheiligsten ist. Als ein sehr auffallendes Beispiel eines solchen Erfolges will ich die gegen das Ende des vergangnen Jahrhunderts ausgeführte Vertiefung der Alle in Ostpreufsen erwähnen. Der Flufs hatte stellenweise eine hinreichende Tiefe für kleinere Fahrzeuge, er wurde aber vielfach durch grofse Granitblöcke gesperrt, welche den Betrieb der Schiffahrt unmöglich machten. Man beseitigte ohne Rücksicht auf das Gefälle die einzelnen Steinriffe. Hierdurch stellte man Anfangs auch ganz nach Wunsch die beabsichtigte Tiefe dar, sobald aber die Arbeit weiter stromabwärts fortgesetzt wurde, so senkte sich der Wasserspiegel in den corrigirten Strecken immer mehr, und als die Arbeit endlich beendigt war, zeigte es sich, dafs nichts gewonnen sei, denn die tiefer liegenden Steine hemmten wieder in derselben Weise den Betrieb der Schiffahrt, wie dieses vorher die obern gethan hatten. *)

Die erwähnte Senkung des Wasserstandes läfst sich auf verschiedene Weise umgehn. Führt man in den §. 18. entwickelten Ausdruck

$$c = k \sqrt{t} \cdot \sqrt[6]{\alpha}$$

statt des relativen Gefälles α, das absolute h ein, welches sich auf die Länge l bezieht, und statt der Geschwindigkeit die Wassermasse M dividirt durch die Profilfläche $= bt$, so ergiebt sich das absolute Gefälle

$$h = \frac{l \cdot M^6}{k^6 \cdot b^6 \cdot t^9}$$

*) Der Geheime Ober-Baurath Cochius, der als Bau-Conducteur diese Arbeiten ausführte, hat das dabei angewendete Verfahren zum Sprengen der gröfsern Blöcke in der Sammlung nützlicher Aufsätze und Nachrichten, die Baukunst betreffend, beschrieben. Jahrgang 1798. Theil II. Seite 72 ff.

Man kann hiernach, wenn auch die Tiefe *t* vergrößert wird, dennoch die Verminderung von *h* verhindern, indem man entweder den Stromlauf verlängert, also *l* vergrößert, oder die Breite *b* verkleinert.

Die Verlängerung der betreffenden Strecke würde sich am einfachsten durch die künstliche Bildung von Stromkrümmungen oder Serpentinen erreichen lassen. Dieses ist allerdings zuweilen vorgeschlagen, aber wohl niemals ausgeführt. Es bietet sich indessen zuweilen hierzu noch ein andres Mittel dar. Bei solchen Strömen, welche abwechselnd sehr starke und sehr schwache relative Gefälle haben, kann man nämlich durch Einschränkung der Profile innerhalb und unterhalb jener Stellen die starken Gefälle auf größere Längen vertheilen. Die Schiffahrt gewinnt bei diesem Verfahren in doppelter Beziehung, es stellt sich nämlich eine größere Wassertiefe dar, und außerdem wird die Geschwindigkeit auch weniger heftig, als sie früher war. Es ist von dieser Corrections-Methode an der Mosel verschiedentlich Gebrauch gemacht worden, wie z. B. neben dem Städtchen Cochem.

Gewissermaßen stellt sich bei jeder Beseitigung einer Untiefe ein Erfolg ein, der mit der Vertheilung des Gefälles auf eine größere Stromlänge zusammenhängt. Die Senkung des Wasserspiegels in der nächst oberhalb belegenen Strecke bedingt nämlich daselbst eine größere Geschwindigkeit, und diese wieder ein größeres Gefälle. Auf solche Weise können einzelne Regulirungen, besonders wenn sie an sich keine starke Verminderung des Gefälles herbeiführen, auch nicht weit stromaufwärts die Senkung des Wasserspiegels ausdehnen, und man kann sie an solchen Strömen, die nur hin und wieder mit Untiefen versehn sind und dazwischen größere Tiefe haben, unbedenklich vornehmen.

Demnächst ergiebt es sich aus der vorstehenden Formel, daß durch Verminderung der Breite sich das Gefälle unverändert in seiner Größe erhalten läßt, wenn gleich die Tiefe zunimmt. Man bemerkt freilich, daß zu diesem Zwecke die Breite in stärkerem Verhältnisse reducirt werden muß, als die Tiefe sich vergrößert. Ein großer Uebelstand, der den beabsichtigten Erfolg leicht aufhebt, ist aber alsdann die starke Zunahme der Tiefe, welche bei leichtem Boden sich nur durch die Deckung desselben verhindern läßt. Die Vertiefung ist aber nicht nur insofern nachtheilig, als sie den

Wasserspiegel in entsprechender Weise senkt, sondern häufig veranlafst sie auch die Zerstörung der Einschränkungswerke. Die sogenannten Rauschbuhnen, welche eine Erhebung des Wasserspiegels zum Zweck haben, erfüllen denselben nur, wenn das Strombett zwischen ihnen sehr fest ist und dadurch eine weitere Vertiefung unmöglich wird. Aufserdem sind sie für die Schiffahrt meist sehr unbequem.

Es ergiebt sich aus dem Vorstehenden, dafs man bei Stromregulirungen keineswegs jeden beliebigen Erfolg herbeiführen kann, derselbe ist vielmehr durch äufsere Verhältnisse und namentlich durch die Wassermenge des Flusses und durch das Gefälle bedingt, so dafs gewisse Grenzen, die oft ziemlich nahe liegen, nicht überschritten werden können. Wenn es Absicht ist, durch die vorzunehmende Regulirung die Vorfluth zu befördern, so hängt die Senkung des Wasserspiegels vorzugsweise vom Gefälle des Stromes ab, und wenn dieses an sich schon sehr geringe ist, so wird die Senkung auch nie bedeutend ausfallen. Andrerseits, wenn man die Schiffahrt erleichtern und zur Zeit des kleinsten Wassers eine grössere Fahrtiefe darstellen will, so läfst sich durch die eigentliche Stromregulirung, das heifst ohne dafs man Wehre und andre ähnliche Anlagen ausführt, die eine künstliche Anspannung des Wasserspiegels bezwecken, gemeinhin die Tiefe nicht stark vergröfsern. Es geschieht nicht selten, dafs in der natürlichen Ablagerung einer Sandbank zur Zeit des kleinen Wassers eine Rinne von derselben Tiefe schon vorhanden war, welche nach erfolgter Regulirung das Bette annimmt. In Bezug auf die Tiefe scheint in solchem Falle wenig gewonnen zu sein, aber der grofse Vortheil, den die Schiffahrt aus der Correction des Stromes zieht, besteht darin, dafs diese Tiefe nutzbar geworden ist, während die frühere es nicht war, indem das grofse Schiff eine enge und dabei vielleicht noch gekrümmte oder sehr schräge gegen den Strom gerichtete Rinne nicht verfolgen kann. So ereignet es sich auch häufig, dafs man bei Untersuchung einer Untiefe den gehörigen Wasserstand vorfindet, der nach der Angabe der Schiffer nicht vorhanden sein soll, der aber in einer Rinne sich befindet, die sie wegen der Enge oder Krümmung wirklich nicht durchfahren können. Dazu kommt noch, dafs bei sehr schräger Richtung oder grofser Entfernung des Fahrwassers vom Leinpfade, besonders bei heftiger Strömung, das Schiff in der Bergfahrt

durch die Zugleine stark seitwärts geneigt, und sonach auch der flache Boden des Schiffes nicht mehr horizontal, sondern an der dem Leinpfade zugekehrten Seite um mehrere Zolle und selbst einen halben Fuſs tief herabgedrückt wird. Umstände dieser Art sind für den Verkehr von der äuſsersten Wichtigkeit, und indem sie durch eine gehörige Stromregulirung beseitigt werden, so erfährt die Schiffahrt dadurch eine wesentliche Erleichterung, wenn auch die Vergleichung der Tiefen, wie sie vor und nach dem Bau bei gleichem Wasserstande gemessen wurden, keine groſse Differenz ergeben sollte. Stellt sich hierbei aber noch eine Zunahme der Tiefe von etwa 6 Zoll auf den flachen Stellen heraus, so ist der Nutzen schon sehr groſs.

Die hier kurz angedeuteten Methoden zur Stromregulirung beziehn sich vorzugsweise darauf, daſs man die beabsichtigten Verbesserungen nicht unmittelbar durch bauliche Anlagen herbeiführt, sondern durch diese nur eine gewisse Einwirkung auf den Strom ausübt, und dadurch den Strom selbst veranlaſst, die gewünschte Umgestaltung des Bettes hervorzubringen. Bei allen andern Wasserbauwerken ist das Verfahren ein wesentlich verschiedenes, indem die Ausführung unmittelbar die Verhältnisse so darstellt, wie man sie gebraucht.

Damit aber das Hochwasser nicht etwa den neuen Stromschlauch wieder mit Sand und Geschieben verschüttet, muſs man dafür sorgen, daſs auch zur Zeit der Anschwellungen eine lebhafte Strömung darin erhalten wird. Man kann es nach den bereits früher mitgetheilten Erfahrungen über die Verflachung des Strombettes als eine Hauptregel ansehn, daſs der Strom des Hochwassers in das eigentliche Strombett oder dahin gewiesen werden muſs, wo auch das niedrige Wasser flieſst. Aufserdem kommt es darauf an, die Strombauwerke so anzuordnen, daſs die vorerwähnten Umformungen wirklich eintreten, und dieses setzt eine genaue Kenntniſs der Wirksamkeit des Wassers voraus.

Indem der Zweck der Stromregulirung darin besteht, das Bette mit passenden Ufern einzufassen, und gewöhnlich eine Beschränkung der bisherigen Breite dabei nothwendig ist, um die gröſsere Tiefe darzustellen und zu sichern, so muſs noch die Frage beantwortet werden, wie groſs diese Breite anzunehmen sei. Man spricht vielfach von der Normalbreite, und versteht darunter ein solches

Maafs, wobei weder Verflachungen eintreten, noch die Ufer angegriffen werden. Wenn diese Forderungen sich auch nicht allein durch die Wahl der Breite erfüllen lassen, so mufs man doch unbedingt die Gröfse der letztern kennen, um die Regulirungswerke richtig anzuordnen, und namentlich die beiderseitigen Uferlinien zweckmäfsig zu legen. Dabei kommt es gemeinhin darauf an, dafs noch beim kleinsten Wasser die nöthige Schiffahrts-Tiefe sich darstellt.

Aus dem obigen Ausdruck ergiebt sich

$$b = \frac{M}{k \sqrt[6]{\alpha} \cdot t \sqrt{t}}$$

M ist die Wassermenge, die beim kleinsten Wasser abgeführt wird, sie vergröfsert sich also, sobald ein neuer Seitenfluſs in den Strom tritt. Aufserdem aber bemerkt man auch, dafs die Breite vom Gefälle abhängt, was gleichfalls nicht unbeachtet bleiben darf. Die Annahme einer gleichen Normalbreite für längere Stromstrecken ist daher sehr bedenklich.

Fast bei allen Stromregulirungen hat man ursprünglich die Breiten zu grofs angenommen und ist daher gezwungen gewesen, sie später zu vermindern. Der vorstehende Ausdruck giebt für b einen zu kleinen Werth an, wenn man für t die beabsichtigte Schiffahrts-Tiefe einführt, denn t ist die mittlere Tiefe, man mufs also jene etwa um den vierten Theil verkleinern. Dabei wäre noch darauf aufmerksam zu machen, dafs eine zu grofse Beschränkung der Breite weniger nachtheilig ist, wenn das Flufsthal gehörig frei bleibt, so dafs das Hochwasser darin sicher abgeführt wird.

§. 21.
Wirksamkeit der Strömung.

Die Wirksamkeit des Stromes erstreckt sich offenbar nur soweit, als derselbe sich im Flufsthale ausbreitet. Diejenigen Flächen, welche durch hohe Umschliefsungen vor dem Zutritt des Wassers sicher gestellt sind, erfahren daher keine Veränderungen, und in gleicher Weise sind auch die höher liegenden Ufer, welche von den

Inundationen nicht erreicht werden, solchen Veränderungen nicht ausgesetzt. Bei den letztern ist jedoch eine Umgestaltung noch insofern möglich, als ihr Fufs unterspült werden kann. Demnächst aber ist die Stärke der Strömung auf die Wirksamkeit des Wassers vom wesentlichen Einflufs. Dieselbe bedingt eben sowohl den Abbruch, wie die Erhöhung des Bodens, und wo sie aufhört, oder unmerklich geringe wird, hört auch die Einwirkung ganz auf, wenn nicht etwa der Wellenschlag solche veranlafst. So sieht man in der That an denjenigen Flächen, welche nur inundirt, aber nicht merklich überströmt werden, auch keine wesentlichen Veränderungen vorgehn. Daher erklärt es sich auch, dafs alte Stromarme, deren obere und untere Mündungen verlandet sind, nur noch unmerklich die erdigen Stoffe aufnehmen, obgleich sie jedesmal beim Wachsen des Hauptstromes anschwellen. Das in sie eintretende Wasser führt keinen Sand oder Kies mit sich, weil es solchen vor dem Uebergange über die hoch aufgewachsenen und gewöhnlich mit Busch bedeckten obern Mündungen schon fallen läfst, und die erdigen Theilchen, die freilich sämmtlich niederschlagen, bilden wenig Masse, da die Wassermenge nur schwachen Zufluſs hat, sich also nur unmerklich erneut.

Hat die inundirte Fläche dagegen besondere Ein- und Ausmündungen, oder steht sie in ihrer ganzen Längen-Ausdehnung mit dem Flusse in freier Verbindung, so erneut sich das Wasser, welches sie anfüllt, fortwährend, und auf diese Weise wird eine grofse Quantität von erdigen Stoffen darüber geführt und aufgefangen. Eine vollständige Abscheidung aller, und auch der feinsten im Wasser noch schwebenden Erdtheilchen ist hierbei freilich nicht möglich, nichts desto weniger gewinnt man doch eine viel gröfsere Masse Material, als im ersten Falle. In den Niederungen unterscheidet man in dieser Beziehung das magere von dem fetten Wasser. Das erste ist entweder Quellwasser oder solches, das durch Rückstau eintritt, das letztere wird aus dem Strome abgefangen und fliefst fortwährend hinzu. Es ist bekannt, dafs dieses die Vegetation vorzugsweise befördert und eine sonstige Düngung der Aecker und Wiesen entbehrlich macht.

Die schwereren Massen, welche sich vom Boden des Stromes nicht weit entfernen, lagern sich nur da ab, wo eine starke Strömung stattfindet, und namentlich da, wo die Geschwindigkeit

sich gerade etwas vermindert. Sie bezeichnen daher, nachdem das Hochwasser sich verlaufen hat, die Richtung und zugleich die Geschwindigkeit der Strömung. Will man eine Ablagerung derselben an einer bestimmten Stelle veranlassen, so darf man den Raum nicht vollständig abschliefsen, derselbe mufs vielmehr nicht nur geöffnet, sondern auch einer starken Durchströmung freigestellt sein. Der Strom darin mufs aber weniger stark, als im Bette selbst werden, damit dieses Material wohl hinein-, aber nicht heraustreibt. Von dem mehr oder minder vollständigen Verschlufs dieser Räume hängt es ab, ob man gröberes oder feineres Material darin auffängt. Sehr augenscheinlich zeigte sich diese Verschiedenheit auf einzelnen Baustellen an der Mosel. Die Mosel führt besonders im Preufsischen Gebiete sehr grobes Geschiebe, und ein solches lagert sich auch gewöhnlich an denjenigen Stellen ab, deren Erhöhung man durch passende Strombauwerke befördert. Zuweilen ist es aber beim Absperren der Stromarme erforderlich, die Werke bis zu einer grösern Höhe aufzuführen, weil sie gleichzeitig zum Uebergange der Leinpferde dienen sollen. Alsdann findet man in dem Raume zwischen denselben nicht mehr das grobe, sondern ein viel feineres Geschiebe, und zuweilen erfolgt hier sogar eine Ablagerung von Sand, den man sonst im Strombette nicht bemerkt.

Sowol in verlassenen Stromarmen, wie auch in den sonstigen Wasserflächen neben einem Strome und selbst in den Intervallen zwischen den Buhnen wiederholt sich vielfach die Erscheinung, dafs die Verbindungen mit dem Strome theils durch Verlandung und theils durch die üppige Vegetation sich schliefsen, so dafs die Durchströmung beim Hochwasser, welches besonders viele erdigen Theilchen mit sich führt, aufhört, und sonach diese Wasserflächen keine weitern Niederschläge aufnehmen, also auch nicht in nutzbare Ländereien sich verwandeln. Um hierauf hinzuwirken, mufs man ihre Mündungen wieder künstlich eröffnen, indem man das Weidenstrauch ausroden, oder auch wohl durch Handarbeit vollständige Zuleitungsgräben ausführen läfst.

Die Verhältnisse, welche bei der Verlandung oder beim Absetzen des vom Strome herbeigeführten Materials eintreten, lassen sich in dieser Art leicht erklären, bei der Vertiefung des Strombettes und beim Angriff der Ufer ist dagegen die Erscheinung viel complicirter, und wird weniger durch die Geschwindigkeit bedingt,

die man in der Richtung des Stromes mifst, als vielmehr durch die innern Bewegungen des Wassers. Insofern gemeinhin beide gleichzeitig zu- und abnehmen, so ist es schwer, sie von einander zu trennen und ihre Wirkungen einzeln wahrzunehmen.

Dubuat, der seine Untersuchungen meist auf sehr kleine und regelmäfsig geformte Wasserläufe beschränkte, welche solche innere Bewegungen in geringerm Maafse zeigen, nimmt an, dafs es für jede Erdart und für jeden Sand oder Kies, worin das Flufsbette eingeschnitten ist, eine gewisse (in der Richtung der Strömung gemessene) Geschwindigkeit giebt, wobei weder Abbruch, nach Ablagerung dieses Materials statt findet, also das Bette sich unverändert erhält. Nachdem er die hierüber angestellten Versuche beschrieben, sagt er *): „Es ergiebt sich aus diesen Beobachtungen, 1) dafs der braune Thon, wie ihn die Töpfer gebrauchen, obgleich er unter allen diesen Stoffen das gröfste specifische Gewicht hat, dennoch der Wirkung des Stroms nicht früher widersteht, als bis die Geschwindigkeit am Boden auf 3 Zoll in der Secunde, oder an der Oberfläche auf 3 Zoll abgenommen hat. Die Leichtigkeit, womit das Wasser ihn angreift, rührt ohne Zweifel von der grofsen Feinheit seiner Theilchen oder davon her, dafs die Oberfläche der einzelnen Theilchen im Verhältnifs zur Masse sehr grofs ist. 2) Der feine Sand fängt an zu widerstehn, wenn die Geschwindigkeit am Boden auf 6 Zoll oder an der Oberfläche auf 12 Zoll sich vermindert, 3) der grobe und scharfe Sand, wenn die Geschwindigkeit am Boden weniger als 8 Zoll beträgt. 4) Der Kies aus der Seine, der entweder fein, mittel oder grob ist, wird nicht mehr angegriffen, wenn die Geschwindigkeit am Boden respective 4, 7 und 12 Zoll beträgt. 5) Die abgerundeten Geschiebe von einem Zoll im Durchmesser widerstehn einer Geschwindigkeit von 24 Zoll, und endlich 6) die eckigen Feuersteine von der Gröfse eines Hühnereies einer Geschwindigkeit von 36 Zoll."

Diese Maafse beziehn sich auf das Pariser Fufsmaafs, der Unterschied gegen jedes andre Fufs-Maafs kommt indessen wenig in Betracht, da die Angaben keineswegs als besonders scharf angesehn werden können.

Diese Resultate sind, ohne dafs man sie, soviel ich weifs, wei-

*) *Principes d'hydraulique* I. §. 71. und II. §. 309.

ter geprüft hat, in alle spätere Lehrbücher der angewandten Hydraulik übergegangen, und man benutzt sie nicht selten, wenn es darauf ankommt, die Erfolge gewisser Anlagen vor der Ausführung nachzuweisen. Man nimmt alsdann übereinstimmend mit Dubuat an, dafs beim Eintritt gröfserer Geschwindigkeiten das Strom- und Canalbett angegriffen, und im Gegentheile es erhöht und verflacht wird, wenn die Geschwindigkeiten geringer sind und die betreffenden Stoffe vom Wasser herbeigeführt werden. Der Grund aber, weshalb man diesen Resultaten volles Zutrauen geschenkt hat, liegt wohl allein in der Schwierigkeit und Unsicherheit, womit die Anstellung solcher Beobachtungen verbunden ist. Ich versuchte es, dieselben für verschiedene Sandarten zu wiederholen, aber es war mir nicht möglich, eine bestimmte Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und der Beweglichkeit des Materials aufzufinden. An einzelnen Stellen, wo das Profil kleiner und sonach die Geschwindigkeit gröfser war, als an andern Stellen, wurde der Sand nicht in Bewegung gesetzt, und häufte sich sogar an, während er in weitern Profilen durch die Strömung fortgetrieben wurde. Ich mufs jedoch dabei bemerken, dafs ich diese kleinen Canäle, worin die Versuche gemacht wurden, absichtlich etwas unregelmäfsig geformt hatte.

Auch bei grofsen Strömen kommen nicht selten Fälle vor, welche mit der letzten Erfahrung übereinstimmen, und in solchen Profilen, wo die mittlere Geschwindigkeit ohne Zweifel am gröfsten ist, gar keinen Angriff durch das Wasser, sondern sogar eine zunehmende Verlandung zeigen. Es ist indessen schwierig, für ein Strombette die Geschwindigkeiten, welche bei verschiednen Wasserständen an derselben Stelle eintreten, richtig zu schätzen und deren Wirkungen zu erkennen. Jedenfalls darf man annehmen, dafs der Angriff, den das Wasser irgendwo gegen den Boden ausübt, ganz unabhängig von dem Umstände ist, ob das Wasser sich daselbst in der Richtung des Stroms bewegt, oder von derselben abweicht. Man kann daher auch nicht aus der in der Richtung des Stroms gemessnen Geschwindigkeit allein auf die Stärke des Angriffs schliessen. Ohne Zweifel mufs man die Geschwindigkeit des vorbeistreifenden und angreifenden Wassertheilchens in ihrer absoluten Gröfse als Maafs der Wirkung betrachten, und gewifs ist die letztere noch durch die Richtung bedingt, unter welcher das Wassertheilchen das Ufer oder die Sohle trifft, wofür man den entsprechenden Druck

einführen kann. Es wäre möglich, dafs dieser Druck an einzelnen Stellen unter gewissen Umständen sogar das Wasser durch den Boden hindurchdrängt und dadurch die Erdtheilchen auflockert, wie dieses in dem Falle geschieht, wenn ein starker Wellenschlag vor dem Ufer stattfindet und der Wasserdruck in Folge desselben abwechselnd bald gröfser, bald geringer wird.

Das Wasser ist wie jeder andre schwere Körper den Gesetzen der Schwere unterworfen. Seine einzelnen Theilchen bleiben nur so lange in Ruhe, als sie von allen Seiten hinreichend unterstützt sind, und hierzu gehört, dafs sie entweder an feste Wände oder an andre Wassermassen sich anlehnen, die unter gleichem Drucke sich befinden. Hört diese Bedingung des Gleichgewichts auf, so tritt Bewegung ein, und zwar bestimmt sich die Richtung derselben durch die gröfste Differenz des Druckes von der einen und der andern Seite. Gesetzt, dafs in einem Gefäfse das Wasser sich immer mehr und mehr ansammelt, so dafs es zuletzt etwas höher als der umgebende Rand steht, alsdann wird es über denselben abfliefsen, weil das neben dem Rande befindliche Wassertheilchen zunächst unter der Oberfläche wohl von der innern Seite des Gefäfses einen Druck erfährt, aber nicht von der äufsern. Dieses Theilchen wird daher über den Rand fortgeschoben. Die Richtung in welcher es hinüber strömt, läfst sich noch näher angeben. Es kann sich offenbar in sehr verschiednen Richtungen über den Rand bewegen, und es würde jede einzelne derselben wirklich verfolgen, wenn es die andern nicht wählen könnte. Für alle diese Richtungen ist der Unterschied des Druckes gleich grofs, vorausgesetzt, dafs der Rand, soweit er überströmt wird, horizontal liegt. Bei jeder schrägen Richtung erfolgt aber eine Verlängerung des Weges, während der normal gegen die Richtung des Randes gekehrte Weg, der kürzeste von allen ist. Dieses findet offenbar beim Ueberfliefsen jedes Randes von einiger Breite statt. Für sehr schmale Ränder ist die Länge des erwähnten Weges an sich nur geringe, nichts desto weniger bleibt das Verhältnifs zwischen den verschiedenen herüberführenden Wegen immer dasselbe. Der kürzeste Weg bedingt daher bei gleicher Erhebung des Wassers über den Rand, das stärkste relative Gefälle, und dieser Umstand ist entscheidend für die Richtung, welche das Wasser wählt. Der Fall ist ungefähr derselbe, als wenn eine Kugel auf eine Ebne gelegt wird, die gegen den Horizont ge-

neigt ist. Sie kann in allen Richtungen herabrollen, welche noch ein gewisses Gefälle haben, und sie würde auch in jeder derselben sich bewegen, wenn die andern stärker geneigten gesperrt wären. Sie folgt aber derjenigen Richtung, in welcher ihr Schwerpunkt am unvollständigsten unterstützt ist, oder wo das stärkste Gefälle stattfindet. In gleicher Art folgt auch das Wassertheilchen beim Ueberfliefsen über den Rand demjenigen Wege, der das stärkste Gefälle im Wasserspiegel bedingt, oder der normal gegen die Richtung des Randes gekehrt ist. Dieses findet in der That statt, und nicht nur in kleinen Gefäfsen, sondern die Erscheinung wiederholt sich auch bei grofsen Wassermassen, z. B. bei Strömen, deren Bett durch Wehre oder andre Bauwerke gesperrt ist. Das Wasser bewegt sich also, insofern nicht andre Kräfte dabei wirksam sind, in einer Richtung, welche rechtwinklig die Werke schneidet.

Der Druck, der die Bewegung des Wassers hervorbringt, kann auch eine Folge des Stofses sein. Wenn die bewegte Wassermasse plötzlich ein Hindernifs findet, so stöfst sie gegen dasselbe und verursacht vor der entgegentretenden festen Oberfläche einen vermehrten Druck, der nach allen Seiten, wohin ein Ausweichen überhaupt möglich ist, das Wasser fortdrängt. Das Wasser wird also rechts und links, oder auch unterhalb, wenn hier ein Weg offen ist, auszuweichen suchen. Aufserdem ist aber bei einem Strome auch die Oberfläche frei, und es bietet sich also jedesmal Gelegenheit zu einer aufwärts gerichteten Strömung, die man in der That in solchen Fällen auch immer wahrnimmt. Am auffallendsten zeigt sich diese Erscheinung, wenn in einem sonst regelmäfsigen Strombette, und zwar einem solchen, worin eine frische Strömung stattfindet, ein einzelner grofser Stein liegt, der etwa bis zum dritten Theile oder der Hälfte der Höhe des Wasserstandes sich über den Boden erhebt. Vor demselben bildet sich eine starke aufwärts gerichtete Strömung, die sich an der Oberfläche durch ein heftiges Aufwallen des Wassers zu erkennen giebt. Es zeigt sich eine förmliche Erhebung der Oberfläche, welche aber natürlich, da ihr jede feste Seitenbegrenzung fehlt, fortwährend ringsumher abfliefst, und sich nur durch den immer erneuten Zudrang von unten ersetzt. Indem diejenigen Wasserfäden des Stromes, welche über dem Steine fortgehn würden, mit dieser Strömung zusammenstofsen, so verändern sie die Richtung derselben und die erwähnte Erhebung des

Wasserspiegels zeigt sich daher nicht mehr unmittelbar über dem Steine, der sie verursachte, sondern weiter stromabwärts. Hieraus ergiebt es sich auch, dafs die Ablenkung dieser Strömung immer gröfser, und wegen des Einflusses der Bewegung der andern Wasserfäden ihr Erscheinen an der Oberfläche immer um so schwächer sein wird, je tiefer der Gegenstand, der sie erzeugte, unter Wasser liegt, oder je geringer seine Höhe über dem Bette im Vergleiche zur ganzen Wassertiefe ist. Nichts desto weniger kann man bei einiger Uebung dieses Aufwallen noch bemerken, wenn es auch von einem wenig vortretenden Steine oder von tief liegenden Holzstücken herrührt. Es giebt sich zu erkennen durch die convexe Form der Oberfläche und die sprudelnde Bewegung, sowie auch dadurch, dafs es seine Stelle nicht verändert. Die Schiffer pflegen hierauf immer sehr aufmerksam zu sein, und besonders bei der Thalfahrt hieraus die Lage der einzelnen Klippen oder sonstigen Gegenstände, auf welche das Schiff aufstofsen könnte, richtig zu beurtheilen.

Eine Erhebung des Wasserspiegels findet auch statt, wenn das Strombette durch eine vom Ufer aus vortretende Buhne plötzlich beschränkt wird. Die davor aufgestaute Wassermasse fliefst im Allgemeinen in zwei verschiedenen Richtungen und zwar immer parallel zur Buhne ab, da stromabwärts der Weg ihr durch den Bau gesperrt ist, und der Stofs des nachfolgenden Wassers den Rücktritt verhindert. Bei starker Strömung und wenn die Buhne stromaufwärts oder auch nur normal gegen den Stromstrich gerichtet ist, tritt oberhalb des Werkes eine starke Bewegung nach dem Ufer ein und es bilden sich alsdann jene Widerströme oder Neere, von denen schon oben (§. 16.) die Rede war. Nichts desto weniger fliefst auch in diesem Falle ein Theil des aufgestauten Wassers dem Kopfe der Buhne zu, und dieses geschieht ausschliefslich, wenn letztere nicht lang und stromabwärts geneigt, auch die Strömung nur mäfsig ist.

Um die bei dieser Gelegenheit eintretende Bewegung weiter zu verfolgen, mufs man eine zweite Eigenschaft berücksichtigen, welche wieder dem Wasser mit allen andern schweren Körpern gemeinschaftlich zukommt: dieses ist das Beharrungsvermögen, oder das Bestreben, die erhaltene Bewegung in gleicher Richtung und mit gleicher Geschwindigkeit fortzusetzen. Stöfst das Wasser schräge gegen eine feste Verticalebene, so wird es keineswegs von derselben

abprallen und unter gleichem Winkel fortgetrieben werden, wie man dieses früher vermuthete, vielmehr wird derjenige Theil der Geschwindigkeit, der gegen die getroffene Fläche normal gerichtet ist, aufgehoben, und der Effect dieser Zerstörung der lebendigen Kraft äufsert sich in dem vermehrten Drucke oder in einer angemessenen Erhebung des Wasserspiegels. Der andre Theil der Bewegung, nämlich der parallel zur Fläche gerichtete, wird nicht weiter verändert, als dafs er durch den Druck verstärkt wird, der aus dem Aufhören des ersten entspringt. Es bildet sich also an der obern Seite der Buhne ein derselben paralleler Strom, der alle Wasserfäden aufnimmt, welche darauf stofsen. Dieser Strom nimmt daher an Stärke zu, wie er sich dem Kopfe des Einbaues nähert, und längs dem Einbaue bemerkt man das starke Gefälle welches dem Drucke entsprechend die Strömung unterhält. Sobald dieser Strom den Kopf erreicht, folgt er keineswegs der Richtung des Haupstromes, vielmehr behält er augenscheinlich seine frühere Richtung bei. Er wird indessen, sobald er sich nicht mehr gegen den Einbau stützen kann, durch die Wasserfäden, welche er trifft, nicht weiter verstärkt, sondern abgelenkt, und so geht er wegen der fortgesetzten Ablenkung nach und nach in die Hauptrichtung des Stromes über. Wo die beiden Ströme sich treffen pflegt eine starke Vertiefung des Bettes die erste Wirkung des Einbaues zu sein.

Dieses Verhältnifs findet jedoch nur statt, so lange der Einbau alle Wasserfäden die ihn treffen wirklich auffängt, und sie dem Hauptstrome zuweist. Dieses geschieht nur, wenn das Wasser nicht darübergeht. Wird der Einbau hoch überfluthet, so ist die Seitenablenkung viel geringer und der gröfste Theil des Wassers fliefst darüber fort. Es bildet sich alsdann wegen der Hemmung, die das Wasser hier erfährt, ein schwacher Wassersturz, der auch bei hohen Anschwellungen die Lage der Buhnen noch erkennen läfst. Bei geringer Ueberfluthung ist die Seitenströmung noch vorhanden, und gewährt für die Schiffahrt den grofsen Vortheil, dafs, so lange das Auffahren des Schiffes auf den Kopf des Einbaues zu besorgen ist, die Strömung selbst zur Abwendung der Gefahr wesentlich beiträgt. Der Seitenstrom weist nämlich das Schiff ab. Ist das Fahrwasser vor dem Kopfe sehr schmal, so mufs das Schiff bei der Thalfahrt oft so gesteuert werden, als wenn es auf die Buhne auflaufen sollte. Nur dadurch vermeidet man, dafs der

Strom von der Seite es nicht zu weit forttreibt, und es auf die gegenüberliegende Untiefe führt.

In gleicher Weise, wie vor künstlichen Einbauen, bilden sich auch vor den natürlichen Sand- und Kiesablagerungen Seitenströme, welche den gegenüberliegenden Ufern sehr nachtheilig sind, und zugleich zur weitern Ausdehnung dieser Ablagerungen beitragen. Wenn die seitwärts gerichtete Strömung aber das Ufer trifft, so zeigt sich hier wieder eine ähnliche Erscheinung wie vor dem Einbau, nämlich die gröfste Geschwindigkeit stellt sich unmittelbar vor dem Ufer ein. Wenn das Ufer aber concav ist, so ist das Beharrungsvermögen des Wassers eine neue Veranlassung, den stärksten Strom neben dem Ufer zu concentriren.

Bei Gelegenheit dieser Seitenströme mufs noch bemerkt werden, dafs sie keineswegs immer in der ganzen Tiefe des Strombettes sich in gleicher Richtung und Stärke darstellen. Wenn der Einbau oder die Kiesablagerung, wodurch sie erzeugt werden, tief unter Wasser liegt, so sind sie oft in der Oberfläche gar nicht, oder doch nur sehr schwach zu erkennen, während sie in der Tiefe noch kräftig bestehn. Das erwähnte Abweisen der Schiffe von den Köpfen der Einbaue giebt sich daher bei Fahrzeugen von verschiedener Einsenkung auch sehr verschiedenartig zu erkennen, so dafs leicht ein kleiner Nachen davon nicht getroffen wird, und in unveränderter Richtung vor dem bereits unter Wasser liegenden Einbau vorbei schwimmt, während das tiefer gehende grofse Schiff stark seitwärts getrieben wird.

Es ergiebt sich schon aus dem Vorhergehenden, dafs das Beharrungsvermögen des Wassers keineswegs allein auf die Bewegungen in horizontaler, sondern auch auf die in verticaler Richtung wirkt. Gerade die letzten üben aber auf das Strombette einen sehr wesentlichen Einfluſs aus. Das Wasser, welches über ein Wehr, oder über einen Einbau stürzt, und dabei eine abwärts gerichtete Bewegung annimmt, setzt diese in dem Unterwasser noch fort, und geht in die horizontale Richtung erst über, wenn es auf die Sohle des Bettes aufstöfst, und von dieser in derselben Weise abgelenkt wird, wie in Bezug auf das Zusammentreffen mit verticalen Ebnen bereits beschrieben ist. Man kann sich hiervon sehr häufig durch die unterhalb der Wehre eintretenden Bewegungen überzeugen. Das überstürzende Wasser bleibt nicht auf der

Oberfläche, sondern hinter den Wehren zeigt die Oberfläche sogar eine entgegengesetzte Strömung, und eine scharfe Grenze, die gemeinhin durch einen Streifen von Schaum bezeichnet wird, bildet sich zwischen beiden Wassermassen. Die erstere verfolgt ihren Weg abwärts, und fliefst in der Nähe des Bodens ab, während sie das auf ihr liegende Wasser mit sich reifst, und sonach eine starke Senkung des Spiegels zunächst unterhalb des Wehres hervorbringt, welche die entgegengesetzte Strömung in der Oberfläche veranlafst.

Es ergiebt sich hieraus, dafs unterhalb eines starken Wassersturzes ein verkehrtes oder stromaufwärts geneigtes Gefälle sich bilden kann. Ein solches stellt sich indessen unterhalb der Freiarchen und Schiffsdurchlässe oft noch viel auffallender dar, so dafs hier förmliche Wasserberge oder hohe stehende Wellen sich erzeugen. Das herabstürzende Wasser hat dabei aber keine so stark geneigte Richtung, als wenn es frei über ein Wehr fällt, und die Strömung ist viel regelmäfsiger und kräftiger. In dem breitern und tiefern Strombette unterhalb der Freiarche kann die ganze Wassermasse nicht so schnell abfliefsen, als sie ankommt, und wenn auch hier wie in jedem andern Profile eben so viel Wasser ab- als zufliefst, so vertheilt sich die Bewegung auf eine gröfsere Masse, die eine geringere Geschwindigkeit annimmt. Auf diese Art wird ein grofser Theil der lebendigen Kraft aufgehoben. Es erfolgt alsdann ein heftiger Gegenstofs, der einen vermehrten Druck und sonach eine starke Anschwellung des Wassers zur Folge hat. Das Wasser steigt daher in aufwärtsgerichteter Strömung so weit an, bis die Geschwindigkeit in dieser Richtung vernichtet ist. Der hohe Wasserberg verursacht für die nächstliegende Strecke einen vermehrten Druck und eine vermehrte Geschwindigkeit, wodurch hier wieder eine besonders tiefe Senkung des Wasserspiegels entsteht, und so bilden sich drei bis vier stehende Wellen hintereinander, die zunächst der Freiarche am höchsten sind und stromabwärts an Höhe abnehmen. Als die Schiffsschleusen an der Lahn noch nicht erbaut waren, und die kleinen Fahrzeuge in Schiffsdurchlässen aus dem Oberwasser der Mühlen in das Unterwasser fuhren, und darin auch wieder heraufgezogen wurden, bildeten sich namentlich unterhalb des Staues bei Balduinstein diese stehenden Wellen besonders auffallend und regelmäfsig aus. In der obersten Welle maafs die Niveaudifferenz zwischen dem Scheitel und dem daneben liegenden

Thale etwa vier Fufs, so dafs man beim Herabfahren in einem kleinen Kahne, wenn man sich niedergesetzt hatte, über diesen Wasserberg nicht fortsehn konnte. Die erwähnte Erscheinung zeigt sich nur an solchen Stellen, wo ein starker und regelmäfsiger Wassersturz stattfindet.

Die Wirbel, welche man in jedem stark fliefsenden Strome bemerkt und die unter besondern Umständen sich so kräftig ausbilden, dafs sie selbst für gröfsere Fahrzeuge gefährlich werden, sind ihrem Wesen nach nichts andres, als Widerströme. Wenn zwei Wassermassen sich berühren, die sich in verschiedenen Richtungen bewegen, oder von denen die eine ruht, während die andre sich bewegt, so verhindert die Cohäsion, dafs sie ihre Wege ohne gegenseitige Einwirkung fortsetzen können. Es treten allmählige Uebergänge aus einer Richtung und aus einer Geschwindigkeit in die andre ein, und diese vermitteln sich durch gemeinschaftliche Drehung beider Massen. Diese Drehung oder der Wirbel wird aber um so kräftiger, wenn für alle übereinander liegenden Wasserschichten dieselbe Veranlassung zu solcher Bewegung eintritt, und die Theilchen in allen Schichten, soweit sie sich berühren, mit gleicher Geschwindigkeit und parallel zu einander im Kreise herumlaufen. Nur in diesem Falle tritt keine gegenseitige Zerstörung zweier übereinander liegenden Wirbel ein. Hierzu gehört aber, dafs die Wirbel eine gemeinschaftliche Drehungs-Achse haben. Wäre dieses nicht der Fall, so würde durch die gegenseitige Mittheilung der Bewegung die Geschwindigkeit des einen und des andern vermindert werden. In grofser Tiefe unter der Oberfläche des Wassers ist die Richtung der Achse eines Wirbels durch nichts bedingt, und es kommen, wie man sich durch Versuche an kleinen Canälen mit durchsichtigen Wänden überzeugen kann, auch Wirbel vor, deren Achsen horizontal liegen. Nahe unter der Oberfläche kann indessen ein Wirbel, dessen Achse von der Richtung des Lothes bedeutend abweicht, nicht entstehn, weil sonst die Wassertheilchen bei Verfolgung der kreisförmigen Bahn über die Oberfläche gehoben werden müfsten, wozu eine gröfsere Kraft erforderlich wäre. Diese Bedingung deutet ein einfaches Mittel an, wodurch man einer heftigen Wirbelbildung vorbeugen kann, nämlich dadurch, dafs der Kopf des Einbaues nicht lothrecht, sondern vielmehr möglichst flach ausläuft. Es bildet sich alsdann wieder eine Reihe von Wirbeln unter ein-

ander, aber einer liegt immer seitwärts von dem andern, und sie können sonach keine gemeinschaftliche Bewegung annehmen, sondern zerstören sich gegenseitig.

Die stärkste und gefährlichste Wirbelbildung stellt sich ganz entsprechend dieser Ansicht da ein, wo der steile Kopf eines Einbaues, oder ein vortretender, senkrecht abgeschnittner Uferrand das heftig bewegte Wasser von dem ruhenden scheidet. Ein sehr auffallendes Beispiel dieser Art, welches sogar für die Schiffahrt höchst gefährlich war, kam auf der Donau unterhalb des Städtchens Grein vor. Nachdem der Strom die mit Felsen angefüllte Strecke, der Strudel genannt, herabgestürzt ist, wirft er sich dem Marktflecken Struden gegenüber auf das rechte stark concave Ufer. Gegen das Ende der Concave springt plötzlich daraus ein Felsen noch etwa 25 Ruthen weiter in das Strombette vor. Gegen diesen stöfst das Wasser mit solcher Gewalt, dafs es in kurzen Perioden stark anschwillt und abfällt, und mit reifsender Geschwindigkeit von hier längs der Felswand in einer Richtung strömt, die bis zum gegenüber liegenden Ufer verlängert, dieses unter einem rechten Winkel treffen würde. Indem diesem heftigen Strom unterhalb des Felsens das stillstehende Wasser begegnet, so bildet sich auf der Grenze zwischen beiden Wassermassen der berüchtigte Wirbel. Die Drehung des Wassers erfolgt mit solcher Schnelligkeit, dafs periodisch in dem Wasser, welches der Achse des Wirbels zunächst liegt, die Cohäsion der Theilchen unter sich durch die Centrifugalkraft aufgehoben, und in ähnlicher Weise, wie beim Ausfliefsen des Wassers aus einem Trichter, der mittlere Raum frei wird. Es bilden sich Oeffnungen von 1 bis 2 Fufs Durchmesser, die bis zu grofser Tiefe sich fortsetzen. Die Schiffe, welche zufälliger Weise einen Wirbel dieser Art treffen, werden im Kreise herumgedreht, und dabei zuweilen zerbrochen, oder wenn ihr vorderes oder hinteres Ende gerade über den Wirbel kommt, so werden sie so stark herabgezogen, dafs das Wasser über Bord läuft, und sie versinken. Eine Einsenkung der Oberfläche des Wassers scheint jedesmal in der ganzen Ausdehnung solcher Wirbel einzutreten, vielleicht ist dieses der Grund, weshalb die Schiffe so tief eintauchen. Die dortigen Schiffer behaupten, dafs in den Wirbeln auch eine abwärts gerichtete Strömung stattfinde, welche, wie sie meinen, die Schiffe herabzieht. Die starken Wirbel in der Donau bilden sich hier periodisch

aus, und indem einer hinter dem andern entsteht und strombabwärts fortrückt, so zerstören sie sich bald gegenseitig. Im linken Donauufer, diesem Wirbel gegenüber, ist durch die heftige Strömung eine grofse regelmäfsig abgerundete Bucht ausgerissen, worin ein heftiger Widerstrom stattfindet. Derselbe faſst häufig die Schiffe, wenn sie schon die gefährlichste Stelle passirt haben, von Neuem und treibt sie soweit stromaufwärts, daſs sie nochmals den Wirbel überfahren müssen.

Durch die in neuerer Zeit ausgeführten Stromcorrectionen soll dieser Donau-Wirbel unschädlich geworden sein. Die vorstehende Beschreibung beruht zum Theil auf eigner Wahrnehmung, indem der Schiffahrts-Inspector in Grein im Jahre 1823 in einem kleinen Nachen mich längere Zeit hindurch auf dieser Stelle herumfuhr und mir Gelegenheit gab, die grofsartige Erscheinung wiederholentlich zu beobachten. Die Angaben über das Verhalten gröfserer Schiffe verdanke ich seinen Mittheilungen.

Wenn man nach obigen Erklärungen auch über die Veranlassung zur Bildung der Wirbel und sonstigen innern Bewegungen im strömenden Wasser im Allgemeinen nicht zweifelhaft sein kann, so ist man doch nicht im Stande, die Erscheinung in ihren Einzelheiten zu verfolgen. Besonders befremdet es, daſs man an derselben Stelle der Oberfläche ganz verschiedenartige Bewegungen nach und nach eintreten sieht, was nicht geschehn könnte, wenn die Strömung immer dieselbe bliebe, also von den Unregelmäfsigkeiten des Bettes immer in gleicher Weise afficirt würde. Man mufs jedenfalls gewisse wellenartige Schwankungen voraussetzen, die sich in der That bei heftigen Strömungen durch das periodische Anschwellen und Sinken des Wassers zu erkennen geben.

Wie wenig die Erscheinung indessen zur Zeit auch noch aufgeklärt ist, so steht wohl fest, daſs diese innern Bewegungen vorzugsweise die Sohle und die Ufer des Strombettes angreifen, und man mufs sie zu befördern suchen, wenn man hierauf hinwirken will. Zu diesem Zwecke dient aber besonders die Verstärkung des Stromes. Soll also im Landes-Cultur-Interesse oder Behufs der Schiffahrt das Bette vertieft werden, so beschränkt man seine Breite und verschliefst die Nebenarme, alsdann bildet sich in der übrigbleibenden Rinne eine gröfsere Geschwindigkeit, und diese wirkt auf die beabsichtigte Vertiefung hin. Aus der obigen Gleichung (§. 20.)

$$h = \frac{l M^6}{k^6 b^6 t^9}$$

ergiebt sich, dafs unter Beibehaltung derselben Profilfläche, wenn die Breite auf die Hälfte reducirt und die mittlere Tiefe verdoppelt wird, das absolute Gefälle h nur den achten Theil des frühern Werthes annimmt. Wenn dagegen das Gefälle, wie die Wassermenge, unverändert, und die Breite auf die Hälfte beschränkt wird, so nimmt t im Verhältnifs von 1 : 1,588 zu, es vergröfsert sich also um mehr als die Hälfte.

Die Beschränkung der Breite, die freilich über gewisse Grenzen hinaus nicht ausgedehnt werden darf (wovon später die Rede sein wird), ist sonach eines der wirksamsten Mittel zur Regulirung der Ströme und Flüsse, und wenn es auch Bedenken erregt, dafs man behufs Beförderung der Vorfluth zu Ausführungen dieser Art sich entschliefst, also zunächst den bestehenden Abfluſs noch behindert, so hat die Erfahrung doch vielfach gezeigt, dafs die alsdann bald eintretenden Aenderungen des Bettes dem Zwecke vollständig entsprechen.

§. 22.

Uferdeckungen.

Wenn man bei der Regulirung eines Stroms nur diejenigen Stellen zu verbessern sucht, welchen die hinreichende Fahrtiefe fehlt, oder welche andre Uebelstände im Strombette zeigen, während man nichts thut, um die Ufer vor Abbruch zu schützen, so ist der gute Zustand des Stroms keineswegs für die Dauer gesichert. Indem die Ufer sich später verändern, so bilden sich auch leicht an solchen Stellen, die anfangs keiner Correction bedurften, neue Schiffahrtshindernisse oder sonstige Unregelmäfsigkeiten, welche den bereits regulirten Strecken nachtheilig werden können. Aufserdem wird die Erde und der Sand oder die Steine, welche beim Abbruch der Ufer in das Strombette stürzen, oft Veranlassung zum Entstehn neuer Untiefen. Inwiefern das Privatinteresse der Uferbesitzer bei Arbeiten dieser Art mit dem allgemeinen Interesse concurrirt, welches sich im Gegensatze der Uferbauten nur auf die eigentliche

Stromregulirung, also auf die Zwecke der Vorfluth und der Schifffahrt beschränkt, davon ist schon oben (§. 20.) die Rede gewesen.

Da die concaven Ufer immer dem stärksten Stromangriffe ausgesetzt sind, ist die Deckung derselben am schwierigsten, zugleich aber auch am nothwendigsten. Leichter ist die Erhaltung der geraden Ufer oder überhaupt derjenigen Ufer, die in einer geraden Stromstrecke liegen, woselbst die Wasserfäden sich parallel zum Ufer bewegen und nicht dagegen gestofsen werden. Wenn endlich das Ufer convex ist, so pflegt der Angriff des Wassers auf dasselbe so geringe zu sein, dafs die weitere Zunahme und Erhöhung des Ufers gewöhnlich von selbst erfolgt, besonders wenn das gegenüberliegende im Abbruch ist. Es geschieht nicht selten, dafs man gezwungen ist, dieser Zunahme Einhalt zu thun, und die Pflanzungen, welche sie befördern, zu zerstören.

Es ergiebt sich hieraus schon, dafs die gröfsten Schwierigkeiten in der Erhaltung der Ufer vermieden werden, sobald man regelmäfsige Uferlinien einführt, welche von besonders scharfen Krümmungen frei sind. Aufserdem ist es aber auch nothwendig, dafs die Uferdeckung sich den Anlagen zur Stromregulirung anschliefst, wovon sie häufig einen wesentlichen Theil ausmacht. Man darf daher das Ufer nicht in derjenigen Richtung, wie es zufälliger Weise gerade abgebrochen ist, zu fixiren suchen, vielmehr müssen die darin befindlichen kleinen Buchten ausgefüllt und die in den Strom vortretenden Ecken entfernt werden. Man kann die neue Uferlinie, wenn es sonst für nothwendig erachtet wird, auch weiter herausrücken, wobei man gewöhnlich noch die Absicht hat, die bereits zerstörte Fläche durch die Alluvionen des Stromes mit der Zeit wieder zu gewinnen. Die Anlagen, welche in diesem Falle zur Ausführung kommen, nämlich Buhnen oder auch Parallelwerke, sind eigentliche Strombauten. Von denselben und ihren Wirkungen wird im Folgenden besonders die Rede sein.

Es ist schon früher mitgetheilt, dafs die Bepflanzung mit Weidenstrauch das Ufer in gewisser Beziehung gegen den Angriff schützt, und namentlich geschieht dieses, wenn der Fufs des Ufers eine gehörige Abflachung nach dem Strome hat, so dafs die grössere Wassertiefe nicht unmittelbar neben dem Ufer sich befindet. Die Pflanzung schützt alsdann den darunter befindlichen leichten Boden vor den nachtheiligen Wirkungen einer darübergehenden

starken Strömung zur Zeit des Hochwassers, und namentlich vor den Beschädigungen durch Eis und Wellenschlag. Sie mäfsigt aber in Folge der vielen Hindernisse, welche die einzelnen Zweige der Bewegung des Wassers entgegensetzen, auch die Geschwindigkeit desselben unmittelbar über dem Boden und giebt dadurch Veranlassung, dafs die im Wasser schwebenden Stoffe reichlich niederschlagen und der Boden schnell empor wächst.

Wenn dagegen das eigentliche Strombett, oder der untere Theil des Ufers, der vom Wasser immer bedeckt bleibt, sehr steil abgebrochen ist, so kann die Pflanzung dem Abbruch nicht vollständig Einhalt thun. Sie vermindert ihn allerdings einigermaafsen, insofern die Wurzeln dem leichten Boden einigen Zusammenhang geben, und die vortretenden Zweige, oder auch wohl die bereits ausgespülten Wurzeln die Strömung und deren zerstörende Einwirkung etwas mäfsigen. Bei stark bedrohten Ufern mufs man aber andre Methoden der Deckung wählen, besonders wenn eine grofse Tiefe sich nahe vor dem Ufer befindet. Die Pflanzung kann alsdann nichts mehr dazu beitragen, der weitern Ausspülung des Fufses vorzubeugen, und wenn diese erfolgt, so stürzt auch der darauf ruhende obere Theil ein, ohne dafs das Weidenstrauch ihn halten könnte. Das Verfahren, welches in diesem Falle angewendet wird, bezieht sich darauf, dafs man das Ufer bis zur Höhe des mittlern Wasserstandes mit einer festen Decke versieht, welche der Einwirkung des Wassers widersteht. Dabei mufs man aber gemeinhin noch darauf gefafst sein, eine Vergröfserung der Tiefe vor dem Ufer eintreten zu sehn. So lange nämlich das Ufer im Abbruch bleibt, und vor dem Strom immer weiter zurückweicht, so wird die vollständige Ausbildung der Tiefe insofern verhindert, als der stärkste Angriff nicht dauernd dieselbe Stelle des Bettes trifft, und sonach auch die Vertiefung nicht ihre äufserste Grenze erreichen kann. Sobald aber die Seitenwand befestigt und ein weiteres Zurückdrängen derselben unmöglich gemacht ist, so äufsert der Strom seine Wirkungen nachhaltig auf dieselbe Stelle der Sohle, und vertieft sie in höherem Grade, als es vorher geschah. Man mufs hiernach die Uferdeckung so einrichten, dafs sie bei zunehmender Vertiefung des Bettes an ihrem Fufse nicht leidet, und vielmehr dem entblöfsten Fufse noch Schutz gewährt.

Die Erhaltung eines bedrohten Ufers ist oft nicht leicht, und

die Schwierigkeit vermehrt sich aufserordentlich, wenn dasselbe steil ansteigt. Bei einer flachen Uferböschung erfolgen nämlich die Angriffe gegen die verschiedenen Punkte in demselben Profile nicht senkrecht über einander, und schwächen sich daher gegenseitig. Aufserdem liegen die einzelnen Theile der künstlichen Deckung um so sicherer, je flacher die Böschung ist, und dasselbe gilt auch von dem dahinter befindlichen natürlichen Ufer. Endlich bleibt die stärkste Strömung, oder der Stromstrich von den flach ansteigenden Ufern auch immer etwas entfernt, und berührt dieselben nicht unmittelbar.

Es ergiebt sich hieraus, dafs senkrechte Ufereinfassungen, also hölzerne Bohlwerke und ebenso auch massive Uferschälungen zur Deckung der Ufer weniger geeignet sind, als solche Constructionen, die man mit einer flachen Böschung versehn kann. Die grofse Kostbarkeit würde aufserdem einer vielfachen Anwendung derselben entgegenstehn.

Die Uferbesitzer pflegen indessen hölzerne Einfassungen als die sicherste Art der Uferdeckung zu betrachten, und wenn sie die Kosten dafür aufbringen können, so ist es oft sehr schwer, sie in ihrem eignen Interesse von der Ausführung derselben abzuhalten. Der Erfolg dabei ist fast jedesmal eine starke Vertiefung des Bettes vor der senkrechten Wand, und wenn der Bau nicht mit einer Spundwand versehn ist, so stürzt das dahinter liegende Ufer unter der Bohlenbekleidung ein, und das Bohlwerk trennt sich vom Ufer. Wenn die eingerammten Pfähle bei dieser Gelegenheit nicht sogleich ausgespült werden, so erfolgt gemeinhin beim nächsten Eisgange, oder bei der nächsten starken Anschwellung des Stromes die vollständige Zerstörung eines solchen Baues. Nur an denjenigen Stellen, wo das Anlegen der Schiffe ein steiles Ufer erfordert, oder der Werth des Bodens die Darstellung flacher Böschungen verhindert, wie dieses namentlich innerhalb gröfserer Städte geschieht, sieht man sich gezwungen, solche steile Ufereinfassungen zu wählen, aber sie müssen alsdann sehr solide und mit der nöthigen Vorsicht erbaut werden, damit die nach der ersten Anlage eintretende Vertiefung nicht ihren Einsturz herbeiführt.

Die gewöhnliche Methode der Uferdeckung besteht darin, dafs man eine Verkleidung oder eine schräge Decke aus Strauch oder losen Steinen bis zur Sohle des Bettes vor dem Ufer herabführt.

Im Allgemeinen ist darüber nur zu bemerken, dafs man keine ganz feste und innige Verbindung der einzelnen Theile darstellen darf, wodurch jede fernere Bewegung unmöglich würde. Man mufs vielmehr die Uferdeckung so einrichten, dafs sie bei eintretender Vertiefung vor ihrem Fufse von selbst herabsinkt und dadurch eine Beschädigung in der Tiefe, die immer am gefährlichsten ist, verhindert. Durch wiederholte Tiefenmessungen, und namentlich nach jedem Hochwasser, läfst sich der Eintritt einer solchen Bewegung in vielen Fällen schon vorhersehn, und zuweilen kann man demselben auch durch besondere Vorkehrungen begegnen. Wenn aber die Verkleidung zur Zeit einer heftigen Strömung während des Hochwassers herabsinkt, so sichert die dabei eintretende Deckung des Fufses fast unter allen Umständen vor einer schnellen Verbreitung des Einbruchs, besonders wenn man schon vorher die Uferdeckung so hoch heraufgeführt und so verstärkt hatte, dafs sie beim Herabgleiten keinen Theil des Ufers ganz ohne Schutz läfst.

Von den sonstigen Stromregulirungsbauten unterscheidet sich die Uferdeckung insofern, als man durch sie nicht gewisse Wirkungen des strömenden Wassers zu veranlassen beabsichtigt, welche den eigentlichen Zweck, nämlich einen regelmäfsigen Stromlauf herbeiführen sollen, sondern sie stellt unmittelbar die gewünschten Verhältnisse dar. Aus diesem Grunde ist sie in ihrem Erfolge sicherer, als jene es sind. Hierdurch erklärt es sich auch, dafs man nach den vielfachen sehr kostbaren aber vergeblichen Versuchen, den Oberrhein auf der damaligen Französischen Grenze, namentlich in der Nähe von Strafsburg, in ein gehöriges Bette zu weisen, sich endlich darauf beschränkt hat, die im Abbruch stehenden Ufer durch Steinschüttungen zu befestigen, und man dadurch nach und nach den Rhein mit unveränderlichen und regelmäfsig gestalteten Ufern zu versehn gedachte *). Es darf kaum erwähnt werden, dafs auch die Uferdeckungen einer sorgfältigen Unterhaltung bedürfen, und weiter fortgeführt werden müssen, sobald etwa vor demselben ein starker Abbruch erfolgt. Versäumt man dieses, so tritt die Gefahr ein, dafs sie hinterspült und vom Ufer getrennt werden und alsdann einem Steinriffe ähnlich im Strombette liegen.

*) *Sur le régime des rivières à fond mobile et sur la défense de leurs rives, par Legrom et Chaperon. Annales des ponts et chaussées.* 1838. p. 332 ff.

Man hat zuweilen die Uferdeckungen zu schützen oder sie ganz entbehrlich zu machen versucht, indem man in einigem Abstande von einander, kurze Buhnen oder sogenannte Köpfe ausführte. Der Zweck dabei war, die starke Strömung etwas zu entfernen und dadurch das Ufer vor dem Nachsinken zu schützen, falls eine gröfsere Vertiefung des Bettes eintreten sollte. Der Erfolg dieses Verfahrens hat sich indessen keineswegs befriedigend herausgestellt, sowie überhaupt kurze Einbaue, gewöhnlich für die zwischenliegenden Uferstrecken, mehr nachtheilig, als nützlich sind. Sie entfernen den Strom nicht weit genug, um ihn unschädlich zu machen, veranlassen aber eine unregelmäfsige Strömung. Besonders verursacht der Uebersturz zur Zeit des Hochwassers über die Köpfe einen verstärkten Angriff gegen das Ufer. Eine in gerader Linie oder in flacher Krümmung stätig fortgeführte Deckung veranlafst dagegen eine regelmäfsige Strömung, die weniger zerstörend wirkt und zugleich ein bequemes Fahrwasser bildet. Auch die Unterhaltung derselben ist mit geringeren Kosten verbunden, als wenn dabei noch die vortretenden Köpfe dauernd geschützt werden müfsten.

Bisher war nur von dem Theil des Ufers die Rede, der gewöhnlich unter Wasser liegt. Für den obern Theil desselben, wo Pflanzungen gedeihen, braucht man keine kostbaren Constructionen anzuwenden. Man thut aber immer wohl, auch hier eine gehörige Regulirung des Ufers vorzunehmen. Diese bezieht sich namentlich darauf, dafs die steilen Abhänge soweit das Hochwasser sie noch erreicht, flach dossirt werden. Aufserdem aber ist es auch nöthig, die kleineren Buchten und vorspringenden Theile, die sich hier vorfinden, zu entfernen, und den ganzen Uferrand möglichst parallel zum eigentlichen Bette zu führen, wodurch nicht nur die stellenweise eintretenden starken Angriffe vermieden werden, sondern aufserdem auch der Strom des Hochwassers verhindert wird, eine andre Richtung zu verfolgen, als die des Bettes. Zum Schutze der letzterwähnten Dossirung dient sowohl eine Rasenbekleidung, als auch Strauchpflanzungen. Die erste ist im Allgemeinen vorzuziehn, insofern sie eine festere Oberfläche bildet, auch einen gröfsern Ertrag giebt. Der Rasen gedeiht indessen nicht unter dem mittlern Wasserstande, weil er in solcher Tiefe zu lange unter Wasser bleibt, aufserdem aber hört der kräftige Wuchs des Grases, besonders bei sandigem Ufer, auch schon in der Höhe von einigen

Fufsen über dem Mittelwasser auf. Seine Anwendung ist daher auf enge Grenzen beschränkt. Wenn die Fläche, die man schützen will, zu tief liegt, so ist die unmittelbare Erhöhung durch Auffahren von Erde gemeinhin viel zu kostbar. Man kann aber durch Anpflanzen von Weiden die Ablagerung der durch den Strom herbeigeführten Stoffe daselbst leicht befördern, so dafs nach mehreren Jahren die Fläche zur Benutzung als Wiese tauglich wird. Schwieriger ist es, hohe steile Ufer vor Abspülung zu sichern und nutzbar zu machen. Der Rasen, den man auflegt, pflegt nur spärlich anzuwachsen, auch das Weidenstrauch, das man pflanzt, gedeiht kümmerlich. Doch gelingt es wohl jedesmal, auf eine oder die andre Weise einige Vegetation hervorzurufen, wenn man nur das willkührliche Betreten des Ufers und namentlich das Weiden des Viehes auf demselben verhindern kann.

§. 23.

Parallelwerke.

Die Parallelwerke, auch Streichwerke oder Richtwerke genannt, bilden die Begrenzung des Strombettes, ohne an das dahinter liegende natürliche Ufer sich anzulehnen. Sie müssen jedoch mit diesem verbunden werden, um den Strom bei kleinem Wasser vollständig in das neue Bette zu weisen, und zwar geschieht dieses gewöhnlich an ihrem stromaufwärts gekehrten Ende. Ihre Wirkung auf das Fahrwasser pflegt Anfangs sehr günstig zu sein. Sie stellen für das kleine und für das mittlere Wasser (so lange sie nämlich nicht überströmt werden) die Verhältnisse unmittelbar in der Art dar, wie man sie herbeiführen will. Aufserdem kommen dabei keine vortretenden Einbaue vor, welche einige Unbequemlichkeiten für die Schiffahrt veranlassen, im Gegentheile fahren die Schiffe zur Seite des sanft gekrümmten Dammes, selbst wenn ein starkes Gefälle daselbst vorhanden sein sollte, sicher herab. Diese Umstände sind Veranlassung, dafs die Parallelwerke überall, wo man sie ausgeführt hat, sich in der ersten Zeit grofsen Beifall erworben haben, und mit Recht wird man sie in vielen Fällen, wenn nämlich ein starkes Gefälle an einer Stelle erhalten werden soll, allen andern Metho-

den vorziehn. Aber keine andre Bauart zeigt sich in ihrer Unterhaltung so kostbar, und bei keiner wird das Fahrwasser und das ganze Strombett bei einer eintretenden Beschädigung so vollständig verdorben, wie bei dieser. Man ist daher vielfach vom Bau der Parallelwerke nach wenig Jahren wieder abgegangen.

Ihre Anwendung ist insofern höchst bedenklich, als sie nicht auf die gehörige Ausbildung der Ufer hinwirken, und daher der durch sie abgeschlossene Theil des Strombettes seine ursprüngliche Tiefe dauernd beibehält. In vielen Fällen ist es sogar geschehn, dafs bei einem Durchbruch derselben der Hauptstrom sich nicht nur entschieden in den abgeschlossnen Arm warf, sondern dabei auch zugleich den künstlich dargestellten Schiffahrtsarm so vollständig mit Sand oder Steinen anfüllte, dafs derselbe beim Verschwinden des Hochwassers nicht mehr Flufsbette, sondern Ufer war, und das Parallelwerk sich hierdurch in eine Uferdeckung verwandelt hatte, die aber wegen der eingetretenen Veränderung des Bettes vor dem entgegengesetzten Ufer lag.

Gewöhnlich erbaut man die Parallelwerke auf solchen seichten Stromstellen, in denen sich ein starkes Gefälle concentrirt, und zwar in der Absicht, dasselbe unverändert zu erhalten, damit die vorhergehende Stromstrecke keine Senkung erfährt. Es bilden sich sonach längs dem Parallelwerke oft förmliche Stromschnellen, in welchen theils durch die Einwirkung des Stroms auf den Boden, hauptsächlich aber durch die starke Zusammendrängung des Wassers auf eine sehr beschränkte Breite, die für die Schiffahrt erforderliche Wassertiefe sich erzeugt. In dieser Art waren früher während mehrerer Jahre die Stromregulirungen an der Saar mit wenig Erfolg versucht worden, und in derselben Weise, nur mit Anwendung einer bessern Constructions-Art sind manche Ströme in Frankreich regulirt. Die Parallelwerke werden entweder nur an einer oder an beiden Seiten des Fahrwassers angelegt. Sie beseitigen für die herabgehenden Schiffe, wenn dieselben auch mit grosser Geschwindigkeit vorbeitreiben, die Gefahr des Aufstofsens, und zugleich dienen sie auch häufig als Leinpfade.

Fig. 83, Taf. XI. zeigt ein Parallelwerk von derjenigen Anordnung, wie es in dem französischen Antheile der Mosel am häufigsten vorkommt. Es liegt in einer Stromkrümmung, und eine starke und in der Oberfläche abgepflasterte Steindossirung begrenzt

den Strom in einem regelmäfsigen Bogen vor dem concaven Ufer, während das convexe Ufer durch das Parallelwerk dargestellt wird. Diese Anordnung ist ohnfehlbar die zweckmäfsigste, die man bei Anwendung dieser Bauart treffen kann, weil der Strom des Hochwassers bis zur Ueberfluthung der Ufer noch in den Schiffahrtsarm gewiesen wird. So lange der Wasserstand unter der Krone des Parallelwerks bleibt, enthält der seitwärts abgeschlossene Arm stehendes Wasser, nur wenn der Bau aus grobem Geschiebe ausgeführt und noch neu ist, so dafs die Zwischenräume nicht geschlossen sind, dringt einiges Wasser hindurch und veranlafst auch in diesem Arme eine schwache Strömung. Bei der in Frankreich üblichen Ausführung war die Quantität des durchsickernden Wassers indessen sehr gering, woher in der ganzen Länge dieses Armes ein horizontaler Wasserspiegel sich einstellte. Dieser Wasserspiegel ist der des Unterwassers. Der Bau scheidet also in seinem obern Anschlusse zwei Wassermassen, deren Niveau-Differenz dem ganzen Gefälle der vom Parallelwerk begrenzten Stromstrecke gleichkommt. Dieses Gefälle beträgt in der Strecke bei Monhofen (Manom) unterhalb Thionville in der Mosel, bei einer Länge des Parallelwerkes von etwa 320 Ruthen, nahe 5 Fufs. Durchschnittlich haben die Werke eine Länge von 186 Ruthen, und das Gefälle beträgt im Mittel $2\frac{1}{4}$ Fufs. Steigt nun das Wasser so hoch, dafs es das Parallelwerk überfluthet, so bedingt dieses Gefälle, welches sich alsdann noch vergröfsert, die Fallhöhe, und dieses geschieht so lange, bis die übertretende Wassermenge auch im abgeschlossenen Arme ein stärkeres Gefälle erzeugt und dadurch den Wasserspiegel am obern Ende desselben hebt. Dafs in der ersten Zeit des Uebersturzes ein starker Angriff des Bodens hinter dem Damme und vorzugsweise hinter dem obern Anschlufs stattfinden mufs, in ähnlicher Weise, wie dieses unterhalb der Wehre geschieht, leidet keinen Zweifel. Die Sicherheit eines solchen Baues wird aber ganz besonders durch die Ausspülung des Bodens hinter dem Parallelwerke bedroht. Dazu kommt noch, dafs das Wasser beim Uebersturz über den Damm eine Richtung normal gegen denselben verfolgt, es trifft also das Ufer und greift dieses unter der Wurzel des Parallelwerkes stark an. Endlich verhindert der Abschlufs der obern Oeffnung das Eintreten derjenigen schweren Stoffe, welche auf der Sohle des Strombettes fortgetrieben werden. Auf diese Weise geschieht

es, dafs der abgeschlossne Nebenarm einer Verbreitung und stellenweisen Vertiefung ausgesetzt, und dagegen der Verlandung entzogen ist. Bei hohem Wasser kann er hiernach, selbst wenn der Anschlufs nicht durchbrechen sollte, leicht zum Hauptarme werden, in welchem Falle die Strömung im andern Arme sich mäfsigt und das schwere Geschiebe darin liegen bleibt. Dieses war in der französischen Mosel bei Sierk wirklich geschehn, als ich im Sommer 1840 diese Stromstrecke sah, und man war gerade mit dem Herausschaffen der sehr schweren Geschiebe und Steinblöcke beschäftigt, die das letzte Hochwasser in den Schiffahrtsarm getrieben hatte.

Eine wesentliche Vervollkommnung der Anlagen dieser Art besteht darin, dafs man das Parallelwerk nicht nur an seinem obern Ende mit dem Ufer verbindet, sondern vielfache Anschlüsse desselben darstellt, die in einiger Entfernung hinter einander liegen. Es werden dadurch verschiedene von einander getrennte Bassins gebildet, und die Niveau-Differenz zwischen dem Ober- und Unterwasser vertheilt sich zwischen dieselben, so dafs sie an jedem einzelnen Anschlufsdamme unbedeutend bleibt, und daher der Uebersturz des Wassers weniger verheerend wird. Aufserdem stellt sich bei dieser veränderten Anordnung zugleich der Vortheil ein, dafs der Strom, wenn zufälliger Weise ein Damm durchbrechen sollte, durch die andern Dämme noch kräftig aufgehalten wird, und jedenfalls tragen dieselben sämmtlich zur Beruhigung des Wassers bei und befördern dadurch den Niederschlag. Die schwereren Geschiebe, welche sich längs der Sohle des Strombettes bewegen, bleiben freilich auch in diesem Falle noch ausgeschlossen, und sonach erfolgt die Verlandung immer viel langsamer, als zwischen offnen Einbauen.

Ein vielfacher Anschlufs der Parallelwerke an das dahinter liegende Ufer kommt bei uns in neuster Zeit jedesmal zur Ausführung, so oft diese Bauart überhaupt gewählt wird, auch in Frankreich hat man an der Midouze und Garonne dasselbe gethan.

In einzelnen Fällen hat man bei der Anlage der Parallelwerke gleich die Ufer bis zu ihnen herausgeführt, und den abgeschnittnen Theil des Strombettes durch unmittelbare Handarbeit ausgefüllt. Dadurch verwandeln sich die Parallelwerke in Uferdeckungen, und die erwähnten Uebelstände können nicht mehr eintreten. Die Kosten der Anlage werden alsdann aber so sehr erhöht, dafs man

nicht leicht dieses Mittel in Anwendung bringen kann. Ein Beispiel dieser Art liefert der Clyde-Strom, der vorzugsweise durch Parallelwerke beschränkt ist, die man mit dem bei der Baggerung gewonnenen Material hinterfüllte. Auch an der untern Lippe ist etwas Aehnliches geschehn. Zwischen den hohen sandigen und unfruchtbaren Ufern hatte das Strombett grofsentheils eine übermäfsige Breite, welche die Bildung der erforderlichen Schiffahrts-Tiefe verhinderte. Die Uferbesitzer übernahmen den Bau der Parallelwerke gegen die Erwerbung der zu erwartenden Alluvionen, sie zogen es aber meist vor, diese sogleich darzustellen, indem der Raum hinter den künstlich gebildeten neuen Ufern mit dem Sande ausgefüllt wurde, den man von den in der Nähe befindlichen Höhen herbeikarrte.

In diesen letzten Fällen sind die Parallelwerke grofsentheils zu beiden Seiten des Stromes ausgeführt worden. Auch an der Mosel im französischen Gebiete wählte man Anfangs die beiderseitige Begrenzung des Fahrwassers durch Parallelwerke. Die französischen Ingenieure sind auch der Ansicht, dafs der Zweck hierdurch vollständiger erreicht wird, was sich vielleicht dadurch erklärt, dafs jeder einzelne Seitenarm alsdann weniger zur Aufnahme des Hauptstromes geeignet ist. Die Anlage-Kosten pflegen sich indessen alsdann bedeutend höher zu stellen.

Endlich mufs noch erwähnt werden, dafs unterhalb der verengten Stelle gewöhnlich eine starke Ablagerung von Geschieben und feinerem Material eintritt. Es ist dieses eine natürliche Folge der plötzlichen Erweiterung des Profils. Nur wenn das Fahrwasser in einer Curve liegt, setzt sich die tiefere Rinne auch weiter abwärts fort.

§. 24.

Buhnen.

Der Zweck der Stromregulirung besteht darin, das Bette und die Ufer so auszubilden und die Strömung so zu leiten und zusammenzuhalten, dafs die Verflachungen und sonstigen Unordnungen aufhören, welche der Abführung des Wassers oder der Schiffahrt

hinderlich waren, oder welche den Uferabbruch veranlafsten. Man kann ohne Zweifel auch durch künstliche Anlagen unmittelbar solche günstige Verhältnisse herbeiführen, aber wie bereits erwähnt, werden die Kosten in diesem Falle übermäfsig gesteigert. Weit zweckmäfsiger und sicherer ist es daher, den Strom zu veranlassen, dafs er selbst hierauf hinwirkt und seine Ufer in der beabsichtigten Art ausbildet. Er mufs also an denjenigen Stellen seines Bettes, welche innerhalb der gewählten Uferlinie liegen, in ähnlicher Weise, wie bei Colmationen geschieht, den Sand und die erdigen Stoffe ablagern, die er mit sich führt. Damit dieses aber geschehn kann, ist es nöthig, dafs man den Strom von diesen Flächen keineswegs ausschliefst, er mufs vielmehr einen freien Zugang finden, und eine frische Strömung mufs ihn hineinweisen. Aber diese Strömung mufs da, wo die Verlandung erfolgen soll, allmählig schwächer werden, und namentlich unmittelbar über dem Boden müssen sich Hindernisse finden, welche die Steine und den Kies und selbst die Sandwellen, die auf der Sohle des Bettes sich fortbewegen, aufhalten und nach und nach die Erhöhung herbeiführen. Hierin liegt der Grund, weshalb die Parallelwerke, die im günstigsten Falle ganz abgeschlossne Bassins bilden, zu diesem Zwecke untauglich sind, dagegen können die vom Ufer aus in den Strom vortretenden Einbaue oder Buhnen sich als sehr vortheilhaft zeigen und die Uferbildung vollständig herbeiführen. Dafs dieses möglich sei, hat die Erfahrung bereits vielfach gezeigt.

Der Hauptzweck solcher Werke ist hiernach die allmählige Umgestaltung der Ufer, und nur in dem Maafse, wie dieser Zweck erreicht wird, kann die Einwirkung auf das Bette sich zeigen.

Diese Ansicht über den Zweck der Buhnen ist keineswegs allgemein verbreitet. Man erwartet von denselben gewöhnlich nichts weiter, als den Schutz der Ufer und die Erhaltung der Tiefe. In dieser Art hat sich z. B. Woltman noch in der letzten Zeit seines Lebens ausgesprochen. Er betrachtet die Einbaue nur als Mittel, um einzelne Unregelmäfsigkeiten zu beseitigen *). Selbst dieser beschränkte Zweck ist vielfach nicht erreicht worden, und namentlich sind die ältern Versuche dieser Art vollständig mifs-

*) Crelle, Journal für die Baukunst, II. Band, Seite 117.

glückt. In den von Wiebeking mitgetheilten Charten des Rheinstroms sind in der Stromstrecke, welche innerhalb der Preufsischen Rheinprovinz und namentlich des Düsseldorfer Regierungsbezirkes liegt, eine grofse Menge von Buhnen angegeben, die von Wiebeking selbst oder doch unter seiner Mitwirkung ausgeführt sind. Nach wenig Jahren waren sie sämmtlich spurlos verschwunden *), wozu auch die Vernachlässigung des Strombaues unter der französischen Herrschaft beitrug.

Diese Erfahrung zeigt, wie nöthig es ist, die Stromregulirungswerke so anzuordnen, dafs sie nicht fortwährend ihre gefährliche Lage behalten. Sie müssen vielmehr durch die Bildung des Ufers sich selbst Schutz verschaffen, so dafs sie nur an einzelnen Stellen einem dauernden Angriffe ausgesetzt bleiben. Indem man aber diese bedrohten Stellen schon vorher kennt, so mufs durch möglichste Solidität ihnen der gehörige Schutz gegeben werden.

So lange man nur die Absicht verfolgte, durch die ausgeführten Bauwerke auf die Bildung des tiefen Stromschlauches und zwar vorzugsweise mit Berücksichtigung des mittlern und niedrigen Wassers hinzuwirken, wie dieses auch bei Anlage der Parallelwerke der Fall ist, so erreichte man zwar zuweilen bald einige Erfolge, aber das Hochwasser wirkte nicht auf Verlandung, und setzte gewöhnlich seine Angriffe gegen die Ufer weiter fort. Dieses war der Grund, weshalb die weit vortretenden und stromabwärts geneigten Einbaue jedesmal stark beschädigt und oft bald zerstört wurden. Die an derselben Strecke des Rheins seit der Wiederbesitznahme durch Preufsen ausgeführten Werke zeigen dagegen wesentlich andere Erfolge. Sie haben nicht nur den fernern Abbruch der Ufer verhindert, sondern fast jedesmal Verlandungen erzeugt, wodurch sie immer mehr und mehr dem Stromangriffe entzogen werden. Wenn die Werke an ihrem Kopfe auch dem fernern Angriffe des Stroms bloſsgestellt bleiben und demselben nicht ganz entzogen werden können, so sind sie doch durch die Verlandungen vor einem Durchbruch gesichert. Eine wesentliche Erleichterung in der Unterhaltung tritt aber bei ihnen noch insofern ein, als die Werke sich

*) Es ergiebt sich dieses aus der Vergleichung mit der Eversmann'schen Charte des Rheinstroms im Düsseldorfer Regierungsbezirke, die im Jahre 1836 erschien.

gegenseitig unterstützen. Indem sie sämmtlich auf die Darstellung eines regelmäfsigen Stromlaufes hinwirken, so verhindern sie es, dafs vor einem derselben ein besonders starker Angriff sich concentriren kann.

Die Regulirung des Rheins im Düsseldorfer Regierungsbezirk konnte bei der Kostbarkeit der Anlagen nur langsam vorschreiten, und ist noch nicht beendet, aber sehr wichtig sind ohne Zweifel die daselbst bereits erreichten Erfolge. In dem Preufsischen Antheile der Weser ist die Regulirung gleichfalls gelungen, und zwar sind hier vielfach feste Ufer an denjenigen Stellen entstanden, wo früher in nachtheiliger und gefährlicher Krümmung das Fahrwasser lag. Noch schneller bildeten sich das Bette und zugleich die Ufer an der Mosel im Trierer und Coblenzer Regierungsbezirk aus.

Die Benennung Buhnen oder Einbaue bezeichnet die ganze Classe der vom Ufer aus in den Strom vortretenden Werke. Dieselben unterscheiden sich von den Parallelwerken dadurch, dafs sie sich entweder gar nicht, oder doch nur auf geringe Längen parallel zum Strome hinziehn. Vielfach giebt man ihnen auch andre Benennungen, die wohl sämmtlich zunächst provinziell waren. Jenachdem aber die localen Verhältnisse das eine oder das andre Material daselbst besonders angemessen erscheinen liefsen, so ist auch mehr oder weniger die Andeutung der Constructionsart, und namentlich des Materials, woraus sie bestehn, in den Begriff des Wortes mit übertragen. So versteht man unter Buhnen, Kribben, Schlachten, Stacken und Schlengen solche Einbaue, die aus Strauch oder aus Faschinen erbaut sind, Wuhre oder Wehre dagegen bezeichnen die Stein-Construction und Höfter die Anwendung des starken Bauholzes. Nichts desto weniger werden auch diese Benennungen sehr verschieden gebraucht, und am allgemeinsten findet noch das Wort Buhne Eingang, worunter man auch die Steinwerke begreift. Man versteht darunter aber immer nur solche Baue, welche Hauptwerke sind und hinreichende Stärke haben, um dem vollen Angriffe des Stroms Widerstand zu leisten, die leichtern Unterstützungswerke, welche an geschützten Stellen errichtet werden, um das Wasser daselbst mehr zur Ruhe kommen zu lassen, und welche ihrer Richtung und ihrem Zwecke nach auch nichts Andres als Einbaue sind, nennt man Schlickfänge, auch Traversen, und wenn sie auf höheren Sandflächen angelegt

werden, Rauschen, wobei die verschiedenen Constructions-Arten wieder durch besondre Benennung bezeichnet werden, wie z. B. Flechtzäune, Pflanzlinien u. dergl.

Die Buhnen werden auch nach den verschiednen Zwecken, die sie herbeiführen sollen, verschiedentlich benannt, besonders in früherer Zeit machte man hierbei den wesentlichen Unterschied, dafs man sie entweder als defensive oder als offensive Werke ansah. Das unterscheidende Kennzeichen zwischen beiden war nach Silberschlag die Breite, auf welche sie den Strom beschränkten. So lange sie nämlich die Normalbreite frei liefsen, so sah man sie nur als Schutzwerke für das dahinter liegende Ufer an, im entgegengesetzten Falle meinte man aber, dafs sie den Angriff des gegenüberliegenden Ufers bewirkten.

Unter Schutzbuhnen versteht man solche Einbaue, welche allein die Sicherstellung des dahinter liegenden Ufers bezwecken, wenn sie aber nicht nur hierauf, sondern auch auf Verlandung oder auf die Erzeugung eines Vorlandes hinwirken sollen, so nennt man sie Fangbuhnen. Ferner versteht man unter Treibbuhnen diejenigen Einbaue, welche Silberschlag offensive nannte, indem sie das gegenüberliegende Ufer, oder auch wohl eine im Strom gelegene Insel oder eine Sand- oder Kiesbank in Angriff versetzen sollen. Rauschbuhnen heifsen sie in dem Falle, wenn ein starkes Gefälle zwischen je zwei einander gegenüberliegenden Buhnen sich bildet, ihr Zweck ist derselbe, den man besser durch Parallelwerke erreicht. Die vorstehenden Arten von Buhnen sind eigentliche Einbaue, aufserdem kommen auch noch Schöpfbuhnen vor, d. h. Werke an den obern Spitzen der Inseln, die durch ihre Richtung dem einen, oder dem andern Arme die Hauptströmung zuweisen sollen, jedoch häufig gerade das Gegentheil von dem herbeigeführt haben, was man beabsichtigte. Ferner nennt man Trennungsbuhnen oder Separationswerke diejenigen, welche vor der Einmündung von Seitenzuflüssen oder Nebenarmen angelegt werden, um eine unregelmäfsige Verbindung derselben mit dem Hauptstrome zu verhindern. Endlich werden auch diejenigen Werke, welche Stromarme ganz abschliefsen, Sperrbuhnen genannt, wofür die gewöhnliche Benennung Coupirung ist.

Die Wirkungsart der eigentlichen Einbaue bei verschiednen Wasserständen ergiebt sich schon zum Theil aus den obigen Mit-

theilungen (§. 21.) über den Effect des strömenden Wassers. Die Buhne sperrt bei kleinem Wasser, oder so lange sie nicht überfluthet wird, einen Theil des Profils, und die Wasserfäden, die früher daselbst abflossen, müssen nunmehr durch den übrigbleibenden Theil des Profils hindurchgehn. Hieraus ergiebt sich augenscheinlich für den letztern eine vermehrte Geschwindigkeit und sonach ein verstärkter Angriff gegen das Bette.

Oberhalb einer Buhne und selbst in der Nähe des Ufers findet man keineswegs stehendes Wasser, vielmehr bemerkt man hier gewöhnlich eine frische Strömung, und häufig kommt es sogar vor, dafs einzelne Buhnen, besonders wenn sie weit in den Strom vortreten, wie Fig. 84 zeigt, die Richtung desselben wenig zu verändern scheinen. Durch die beiden punktirten Linien ist diese Richtung des Stroms oder der Stromstrich vor und nach dem Bau angedeutet, und man bemerkt, dafs die Buhne diese Richtung stromaufwärts gar nicht geändert hat. Es kommt sogar vor, dafs Schiffe bei der Thalfahrt durch den Strom in den Winkel oberhalb der Buhne hineingezogen werden, und dafs vom gegenüberliegenden Ufer aus die Sandbänke während des Baues und bald nachher sich viel weiter in das Bette hineinziehn, als vorher der Fall war. Diese auffallende Erscheinung, dafs nämlich eine heftige Strömung in der Bucht oberhalb der Buhne fortdauert, ohnerachtet der frühere Ausweg gesperrt ist, erklärt sich durch die Gestaltung des Strombettes. Man darf daher nicht voraussetzen, dafs Buhnenanlagen auf eine weite Entfernung stromaufwärts schon von Einfluſs sind. Ein solcher kann nur darin bestehn, dafs die Buhnen durch den erzeugten Aufstau das Gefälle mäfsigen, aber dieses verschwindet, sobald die gröfsere Tiefe vor dem Kopfe einen verstärkten Abfluſs gestattet. Das Wasser verfolgt sonach unmittelbar nach der Ausführung des Baues seinen frühern Weg, und vermöge seines Beharrungsvermögens behält es auch, sobald es in den Wirkungskreis der Buhne tritt, diejenige Richtung bei, die ihm durch die Gestaltung des Strombettes, und namentlich durch die tiefere Rinne in demselben angewiesen wird. Diese Verhältnisse werden nicht früher verändert, als bis durch das Hochwasser eine wesentliche Umformung eingetreten ist. Es erklärt sich indessen hieraus, dafs einzelne Buhnen, besonders wenn sie stark vortreten, weit entfernt den Strom zu reguliren, die Unregelmäfsigkeit desselben noch vergröfsern. Aber

auch zur Zeit des Hochwassers können solche isolirte Anlagen keinen günstigen Erfolg herbeiführen, während ihre Unterhaltung sehr kostbar ist.

Diese Uebelstände verlieren um so mehr an Bedeutung, in je kürzerem Abstande die Buhnen einander folgen. Hierauf beruht das sicherste Mittel, um den Strom vom Ufer zu entfernen und in denjenigen Theil des Bettes zu weisen, den man als eigentliches Strombett offen erhalten will. Die Entfernung der Buhnen unter sich ist aber keineswegs allein von ihrer Länge abhängig, sondern man mufs vielmehr eine bestimmte Beziehung zwischen dieser Entfernung und der Breite des Stroms aufsuchen. Es ergiebt sich dieses schon aus dem Umstande, dafs, wenn die Buhnen später ihren Zweck erfüllt und die Verlandung zwischen sich erzeugt haben, die letztere noch dauernd durch sie geschützt werden mufs, damit nicht neue Ufereinbrüche und Unordnungen sich erzeugen. Dabei ist offenbar die Lage des Ufers zur Zeit der Regulirung ganz gleichgültig, und folglich auch die ursprüngliche Länge der Buhnen. Die Buhnenköpfe, welche die Festpunkte für das Ufer bilden, müssen daher so nahe neben einander liegen, dafs keine nachtheilige Stromkrümme dazwischen entstehen kann, und ohne Zweifel ist die Breite des Stroms der einzige Maafsstab für diese noch zulässige Entfernung der Köpfe von einander. Zur Erleichterung der Anlage kann es allerdings dienen, wenn man in tiefen Buchten Anfangs die Buhnen in gröfsern Abstand von einander legt. Sie werden alsdann aber weniger wirksam sein, und können nur dazu dienen, einigermaafsen die Verhältnisse zu verbessern und einige Verlandung zu erzeugen. Sobald dieser Zweck durch sie aber herbeigeführt ist, so müssen sie noch durch dazwischengelegte Werke in ihrer Wirksamkeit unterstützt werden. Man erreicht dadurch den Vortheil, dafs man die spätern Bauten in einer geringern Wassertiefe und zuweilen auch in geringerer Länge, also in beider Beziehung wohlfeiler ausführen kann.

Verfolgt man ferner die Strömung des niedrigen Wassers vor dem Kopfe oder dem äufsern Ende der Buhne und unterhalb desselben, so findet an der Stelle, wo die Buhne liegt, nicht nur wegen der stärksten Verengung des Profils die gröfste Geschwindigkeit statt, sondern aufserdem trifft gerade hier die Seiten- oder Uferströmung mit dem nicht abgelenkten Strome zusammen, aufserdem

zeigt sich auch hier das stärkste Gefälle und oft ein förmlicher Wassersturz. Alle diese Umstände wirken auf die Vertiefung dieser Stelle hin, welche in der Regel auch sehr stark und schnell erfolgt. Oft stellt sie sich in solcher Gröfse ein, dafs selbst die Wasserfäden von der andern Seite des Stroms sich hierher wenden, weil ihre Abführung hier am wenigstens behindert wird, und weil gerade hinter der Buhne das Wasser am niedrigsten steht.

Die starke Vertiefung vor dem Kopfe der Buhnen ist schon als eine Unregelmäfsigkeit im Strombett an sich nachtheilig, und wird es um so mehr, als sie zuweilen eine übermäfsige Verengung des Profils und dadurch auch eine besonders heftige Strömung veranlafst, welche den Betrieb der Schiffahrt erschwert und selbst gefährlich macht, endlich aber wird dadurch auch der Kopf der Buhne der Gefahr ausgesetzt, dafs er in die Tiefe herabstürzt. Schon während des Baues pflegt sich die Vertiefung zu zeigen, und indem sie immer vor dem bereits fertigen Theile eintritt, so geschieht es nicht selten, dafs man die ganze Buhne in einer weit gröfsern Tiefe ausführen mufs, als nach den vorhergehenden Untersuchungen des Grundes zu erwarten war. Es fehlt nicht an Beispielen, dafs Buhnenanlagen gar nicht beendigt werden konnten, weil die Tiefe und zugleich die Strömung vor ihnen immer heftiger wurde. Von den Vorsichtsmaafsregeln, welche man in dieser Beziehung treffen kann, soll später bei Beschreibung der Constructionen die Rede sein, hier mufs aber darauf aufmerksam gemacht werden, dafs dieser Uebelstand am bedenklichsten wird, wenn man mit einem einzelnen Bau sehr weit in den Strom herausgeht und die Verengung des Profils ein besonders starkes Gefälle oder einen hohen Aufstau verursacht. Wenn man dagegen eine Buhne in nicht gar weiter Entfernung von andern ausführt, so vertheilt sich das Gefälle der zu corrigirenden Stromstrecke auf alle, und es wird daher um so geringer vor jeder einzelnen. Aufserdem gewährt jede fertige Buhne einen merklichen Schutz der nächstfolgenden, und indem man das ganze System von Buhnen an das regelmäfsig geformte Ufer anschliefst, so ist das oberste Werk nur kurz, und jedes folgende tritt vor dem frühern nur wenig vor, so dafs kein einziges in seiner ganzen Länge von einem besonders heftigen Strome getroffen wird.

Unterhalb des Kopfes der Buhne trifft der verstärkte Strom mit einer Wassermasse zusammen, die an der allgemeinen Bewe-

gung wenig Theil nimmt und von oben her keinen Zufluſs erhält. Hier bilden sich in Folge der Cohäsion der Wasserfäden jene Wirbel oder Widerströme aus, deren schon Erwähnung geschehn ist, und zu ihrer Mäſsigung trägt besonders eine sanfte Dossirung des Kopfes der Buhne sehr wirksam bei. Auſserdem aber sind sie um so schwächer, je geringer das Gefälle vor der Buhne bleibt, und sonach läſst sich ihr schädlicher Einfluſs gleichfalls vermindern, wenn man die Anzahl der Buhnen vergröſsert, oder das Gefälle der ganzen Stromstrecke auf mehrere vertheilt.

Wenn man diese Vorsichts-Maaſsregel beachtet, also die Streichlinie, bis zu der die Buhnenköpfe heraustreten, in sanfter Krümmung an das oberhalb, wie an das unterhalb belegene Ufer anschlieſst, auch diese Linie möglichst gleichmäſsig in flacher Curve durchführt, wenn man ferner die gegenseitigen Abstände der Buhnen passend annimmt, und mit dem Bau der obern beginnt, so gelingt es, den Strom so regelmäſsig in sein neues Bette zu weisen, daſs selbst die gröſsern Tiefen vor den Köpfen kaum bemerkbar sind. Bei manchen in neurer Zeit unter Leitung des Strombaudirector Nobiling am Rhein ausgeführten sehr bedeutenden Correctionen sind diese Erfolge wirklich erreicht.

So lange der niedrige Wasserstand anhält, oder wenigstens die Buhnen nicht stark überströmt werden, so beschränkt sich der Effect, den sie herbeiführen, gewöhnlich nur auf die Vertiefung des Bettes unmittelbar vor dem Kopfe. Es bilden sich hier tiefe Löcher, die sich bald weiter ausdehnen, die aber, wenn die Strömung stark ist und die Buhnen nicht weit von einander liegen, mit der Zeit in Zusammenhang treten und dadurch die beabsichtigte tiefe Fahrrinne darstellen. Ein solcher tiefer Schlauch liegt aber, unmittelbar vor den Buhnenköpfen. Man pflegt aus diesem Grunde den Buhnen im Allgemeinen die Eigenschaft beizulegen, daſs sie den Strom anziehn. In vielen Fällen kann diese Eigenschaft sehr nützlich werden, zuweilen ist sie aber auch nachtheilig und dem Zwecke des Baues gerade entgegen. Das Letzte pflegt namentlich einzutreten, wenn man die Anlage in der Absicht ausgeführt hat, um an dem gegenüberliegenden Ufer Abbruch zu erzeugen, oder Inseln zu beseitigen. In gleicher Art verfehlen auch die sogenannten Schöpfbuhnen groſsentheils ihren Zweck. Statt den Strom von demjenigen Arm abzuhalten, dessen obere Mündung sie theil-

weise sperren, erzeugen sie oft eine so starke Vertiefung vor ihrem Kopfe, dafs der Strom sich vorzugsweise in diesen Arm hineinwirft und dadurch der andre Arm, dem man mehr Wasser zuweisen wollte, zur Verlandung kommt.

Es läfst sich indessen aus dieser Wirkung der Buhnen auch wieder Vortheil ziehn, besonders kann man hierdurch in Sandbänken, die von dem convexen Ufer aus weit in das Strombett vortreten, tiefe Rinnen einschneiden und offen erhalten, wodurch der Angriff gegen das concave Ufer sich vermindert. Man mufs dabei freilich von der gewöhnlichen Ansicht absehn, dafs vor convexen Ufern keine Buhne ausgeführt werden dürfe, wie dieses oft als allgemein gültiger Grundsatz ausgesprochen wird. Diese Regel beruht allein auf der Voraussetzung, dafs alle Buhnen den Strom von sich abweisen, sie also in diesem Falle den Angriff auf das concave Ufer vermehren, oder die Krümmung noch schärfer machen würden. In der Wirklichkeit geschieht dieses aber nicht immer, vielmehr ist das Gegentheil die allgemeinere Erscheinung, denn die meisten Buhnen ziehn den Strom an. Die Buhnen auf der Sandbank vor dem convexen Ufer wirken daher, wenn sie noch von einer merklichen Strömung getroffen werden, in gleicher Weise, wie sie es unter andern Verhältnissen thun würden: sie concentriren den Strom vor ihren Köpfen, erzeugen hier Vertiefung und dienen sonach dazu, die Sandbank, auf der sie stehn, in Angriff zu versetzen, oder den Anfall des Stroms auf das gegenüberliegende bedrohte Ufer zu mäfsigen. Eversmann hat mit sehr günstigem Erfolge einige Werke in dieser Art erbauen lassen, sie jedoch so leicht construirt, dafs sie einer starken Vertiefung vor dem Kopfe nicht widerstehn konnten, und daher sogleich abbrachen, wie eine solche eintrat. Sie durften aus diesem Grunde weit über die Normalbreite des Stroms herausgeführt werden, wodurch es allein möglich war, sie einer heftigen Strömung auszusetzen, welche auf die Vertiefung hinwirken konnte. Sobald diese sich aber zeigte, zog sich auch die Strömung schon mehr nach diesem Ufer hin, und blieb auch wirksam, wenn der Kopf der Buhne in der Tiefe versank und fortgerissen wurde.

Man kann die Wirksamkeit der Buhnen, in Betreff der Bildung einer zusammenhängenden Rinne, noch verstärken, wenn man sie mit Flügeln versieht, wie Fig. 85 zeigt. Der Vortheil dieser Anordnung liegt darin, dafs man dem vorbeiströmenden Wasser eine

bestimmte Richtung ertheilt, die es in Folge seines Beharrungsvermögens auch ferner beibehält und dadurch veranlafst wird, auf eine gröfsere Länge das Bette anzugreifen. Es bilden diese Flügel den Uebergang zu den Parallelwerken, und dieselben Uebelstände, welche bei den letztern eintreten, zeigen sich gewissermafsen auch schon an ihnen, namentlich die unregelmäfsige und unvollständige Ablagerung des Materials. Sie verhindern daher schon zum Theil die gehörige Ausbildung der Ufer. Man kann diese Flügel entweder stromaufwärts oder stromabwärts an die Buhnen anschliefsen, oder auch Beides vereinigen, wie in der Figur angegeben ist. Aufserdem liegt eine Verschiedenheit noch darin, dafs man sie entweder ganz gerade in der Richtung der beabsichtigten Uferlinie zieht, wie Fig. 85 *a*, oder ihnen eine solche Neigung und zugleich einige Krümmung giebt, dafs sie um so kräftiger das Wasser verhindern, diejenige Richtung anzunehmen, welche es sonst annehmen würde Fig. 85 *b*.

Es ergiebt sich schon aus Vorstehendem, dafs man bei Ausführung einer Reihe von hintereinander liegenden Buhnen, oder eines ganzen Buhnen-Systems mit dem Bau der obern beginnen, und von dieser weiter stromabwärts vorgehn mufs. Die Erwartung, dafs die obern Buhnen schon auf die Regulirung der ganzen zu verbessernden Stromstrecke hinwirken, und daher den Bau der untern wesentlich erleichtern werden, pflegt dagegen gemeinhin nicht in Erfüllung zu gehn. Man ist freilich oft wegen der grofsen Kosten des ganzen Baues, oder wegen mangelnder Arbeitskräfte gezwungen, einen begonnenen Bau zu unterbrechen, und seine Fortsetzung erst im folgenden Jahre oder noch später in Aussicht zu nehmen, alsdann verläfst aber der Strom unterhalb der bereits ausgeführten Werke gemeinhin nicht seinen frühern Lauf, sondern tritt vielmehr in jene Rinne schräge wieder hinein, und veranlafst dadurch nicht selten eine bedeutende Erschwerung der Schiffahrt.

Besonders nachtheilig ist aber die Unterbrechung des Baues einer einzelnen Buhne, weil alsdann vor dem fertigen Theile derselben die Tiefe sich bedeutend zu vergröfsern pflegt, also die spätere Fortsetzung wesentlich erschwert wird. Man kann freilich der Zunahme der Tiefe vorbeugen, aber immer sollte man wohl dafür sorgen, das sämmtliche Material, welches man wahrscheinlich nöthig hat, schon vor dem Beginn jedes einzelnen Werkes beizuschaffen. Hiernach läfst

es sich auch nicht rechtfertigen, wenn man vorläufig den Werken eine geringere Länge giebt, als sie haben sollen, und man sie erst später ergänzt, sobald sich das Bedürfnifs dazu herausstellt. Es ist freilich sehr schwer, schon vorher genau zu bestimmen, wie weit die Einschränkung des Bettes an jeder Stelle getrieben werden mufs, um die beabsichtigten Erfolge herbeizuführen, und es ist natürlich, dafs man in der Ungewifsheit hierüber lieber zu wenig, als zu viel thut. Nichts desto weniger sollte man die Erfahrungen, die an demselben Strome bereits früher gesammelt sind, immer sehr sorgfältig benutzen, um die zweckmäfsigste Entfernung der beiderseitigen Uferlinien schon vorher passend zu wählen.

Bisher ist nur von der Wirksamkeit der Einbaue bei niedrigem oder mittlerem Wasserstande die Rede gewesen, also während der Zeit, in welcher sie nicht überströmt werden. Eine Ausbildung der Ufer tritt aber erst ein, wenn das Wasser über die Buhnen fortgeht, und eine starke Strömung sich in dem durch sie umschlossenen Raume bildet. Die Bedingungen, von welchen die Erhöhung des Bettes an diesen Stellen abhängig ist, sind schon oben erwähnt worden. Das schwere Geschiebe, welches auf dem Grunde fortrollt, mufs, ohne dafs es eine steile Dossirung heranzusteigen oder seine Richtung stark zu verändern braucht, in die Zwischenräume zwischen den Buhnen getrieben werden. Es bleibt daselbst liegen, wenn einige Beruhigung des Wassers eintritt, und namentlich wenn die starke Strömung unmittelbar über der Sohle gehemmt wird. Die feinern Stoffe, welche im Wasser schweben, treiben dagegen über die Buhnen fort, und sinken nur in so weit zu Boden, als die eintretende Beruhigung dieses gestattet. Man darf nicht erwarten, dafs beim Abschneiden eines grofsen Theiles des Bettes die schwereren Stoffe sich über die ganze Fläche und bis gegen das frühere Ufer verbreiten, sie bleiben vielmehr in der Nähe der Streichlinie. Man bemerkt hier in der That fast immer die stärkste Ablagerung des schwereren Materials, und besonders reichlich pflegt diese zu erfolgen, wenn die Buhnen stromaufwärts gekehrt sind, oder das schwerere Material bei Verfolgung der Richtung seiner frühern Bewegung, zwischen sie hineingetrieben wird. Hierin liegt der Grund, weshalb die stromaufwärtsgekehrte Richtung der Einbaue zur Beförderung der Uferbildung beiträgt.

Die feinern Stoffe, welche vom Strome in den durch die

Buhnen abgeschlossnen Theil des Bettes hineingeführt werden, sind es, welche den hintern Theil des Raumes zunächst des alten Ufers anfüllen müssen, weil die gröbern Massen nicht mehr dahin gelangen. Es wird daher nöthig, an diesen Stellen die Geschwindigkeit zu mäfsigen, und dieses geschieht, indem man die Buhnen hier erhöht, oder sie vom Strome aus, nach dem Ufer hin ansteigen läfst. Man erreicht dadurch den Vortheil, dafs die Strömung in der Nähe des neuen Uferrandes stark genug bleibt, um Kies und groben Sand hineinzuführen, während der feinere Sand in der schwächern Strömung neben dem alten Ufer niederschlägt. Die Höhenlage der Krone bedingt zugleich die Tiefe, in welcher die frische Bewegung des Wassers aufhört, und sonach die Höhe, bis zu welcher die Niederschläge sich überhaupt ablagern. Manche andre Umstände bleiben dabei freilich von grofsem Einfluſs, aber im Allgemeinen hängt die Form des künstlich gebildeten Ufers doch von dem Profil der Buhnen ab. Steigen diese daher nach dem Ufer herauf, so erhält auch das Ufer eine sanfte Böschung, und der wesentlichste Nutzen davon beruht wieder darin, dafs alsdann die Strömung des Hochwassers sich nicht aus dem Bette des kleinen Wassers entfernt, und in diesem die Tiefe erhält. Am vollständigsten dürfte dieses erreicht werden, wenn man den Buhnen gar keinen scharf markirten Kopf gäbe, sondern sie mit sanfter und stätiger Steigung von der Sohle des Bettes aus bis ans Ufer heraufgeführt würden. Dadurch liefse sich überdies die starke Vertiefung vor dem Kopfe vermeiden, auch würden die Widerströme und die sonstigen Unregelmäfsigkeiten beinahe ganz aufhören. Endlich würde dabei das Wasser, sobald es einen niedrigern Stand annimmt, auch immer um so stärker zusammengedrängt werden, wodurch allein eine gröfsere Tiefe bei kleinem Wasser gesichert wird. Eine solche Anordnung stellt sich daher als die wirksamste und zugleich als die einfachste dar. Man kann indessen bei der gewöhnlichen Constructionsart der Buhnen keinen Gebrauch davon machen, auch würden die zu diesem Zwecke vortretenden Steinschüttungen die Schiffahrt gefährden.

Eine besondere Berücksichtigung in Bezug auf die Wirksamkeit der Buhnen verdient noch derjenige Wasserstand, bei dem dieselben mäfsig überströmt werden. Der alsdann erfolgende Uebersturz wird unter allen Umständen eine Vertiefung neben der untern Seite

der Werke veranlassen und hierdurch die regelmäfsige Ablagerung des Materials einigermaafsen verhindern. Der Nachtheil läfst sich vermeiden, wenn man die Werke an der stromabwärts gekehrten Seite recht flach dossirt, doch ist dieses Mittel zu kostbar, als dafs es allgemeine Anwendung finden könnte, aufserdem ist es bei dem gewöhnlichen Packwerks- oder Faschinenbau nicht anwendbar. Die oben erwähnte Ansteigung der Krone der Buhne nach dem Ufer hin, ist aber auch in dieser Beziehung vortheilhaft, weil bei den verschiedenen Wasserständen der stärkste Angriff auf verschiedenen Stellen des Bettes erfolgt.

Am nachtheiligsten wirkt das überstürzende Wasser, wenn es bei Verfolgung seiner Richtung, nämlich normal gegen die der Krone, das Ufer dicht unterhalb des Anschlufspunktes trifft. Es ist hiervon schon bei Gelegenheit der Parallelwerke die Rede gewesen, doch auch bei Buhnen ist dieser Umstand von der äufsersten Wichtigkeit. Es ist klar, dafs der Abbruch des Ufers in Folge dieses Wasserübersturzes von der Richtung der Buhne gegen das Ufer abhängt. Ist der stromabwärts liegende Winkel zwischen dem Ufer und der Buhne sehr spitz, so wird der Angriff am stärksten sein. Dieses zeigt sich auch häufig so sehr, dafs dadurch tiefe Ufereinrisse veranlafst, und nicht selten der Anschlufs der Buhne durchbrochen wird. Am wenigsten nachtheilig wirkt dagegen das überstürzende Wasser auf das Ufer, wenn der erwähnte Winkel stumpf oder die Buhne stromaufwärts gekehrt ist. Dieser Umstand begründet wieder den Vorzug der letzten Richtung der Werke.

Die Krone der Buhnen ist vielfältigen Angriffen ausgesetzt, so dafs sie gemeinhin nach einiger Zeit ihre Regelmäfsigkeit verliert. Man stellt sie freilich nach jeder Beschädigung möglichst bald wieder her, wenn diese Reparaturen aber nicht gar zu kostbar ausfallen sollen, so mufs man sie auf die stärkern Beschädigungen beschränken, und es kann nicht fehlen, dafs merkliche Senkungen an einzelnen Stellen noch bleiben, über welche das Wasser mit verstärkter Heftigkeit strömt. Besonders läfst sich dieses bei den mit Strauch bewachsenen Werken nicht vermeiden, aber auch selbst bei den massiven und abgepflasterten Buhnen, die niemals ein förmliches Mauerwerk bilden, oder in regelmäfsigem Verbande von unten aufgeführt werden, sondern die im innern Körper nur aus einer losen Steinschüttung bestehn, ist ein ungleichmäfsiges Setzen leicht möglich.

Wenn die Krone der Buhne ganz horizontal angelegt wird, so verstärkt sich an einer solchen vertieften Stelle der Angriff des Wassers, so oft dasselbe überströmt, und diese stärkere Strömung vermehrt aufs Neue den Angriff. Die Strömung, und sonach auch die Wirkung derselben, wird aber um so strärker, je gröfser die Niveaudifferenz zu beiden Seiten ist, und vielfach, besonders bei stromabwärts gerichteten Buhnen, ist diese Differenz neben dem Anschlufs an das Ufer oder an dem Wurzelende am gröfsten. Die Krone mufs also auch aus diesem Grunde hier am höchsten liegen.

Die Neigung, welche man der Krone geben kann, ist nicht nur durch die Constructionsart der Werke, sondern auch durch die Höhe der Ufer bedingt. Die Buhne darf nämlich niemals sich über das anschliefsende Ufer erheben, vielmehr mufs sie stets etwas niedriger als dieses bleiben. Wenn man hiervon eine Abweichung sich erlaubt, so tritt eine verstärkte Strömung hinter der Buhne ein, und es bilden sich hier leicht Rinnen, die sich schnell verbreiten und vertiefen, so dafs der ganze Bau endlich wie eine Insel im Strombette liegt und um so schädlicher wirkt, je fester er construirt war.

Nachdem im Vorstehenden die Wirksamkeit der Buhnen im Allgemeinen beschrieben und die wesentlichen Vortheile bezeichnet sind, die man durch dieselben erreichen kann, und in neuster Zeit auch wirklich erreicht hat, mufs des grofsen Mifstrauens erwähnt werden, welches man in Frankreich gegen diese Art von Anlagen hegt *).

Zunächst müssen in dieser Beziehung die am Rhein unterhalb Strafsburg, gegen das Jahr 1825, ausgeführten Anlagen erwähnt werden, welche Defontaine sehr ausführlich beschrieben hat **). Die Schwierigkeiten, denen man hier begegnete, waren sehr grofs, und wenn es dabei auch glückte, einzelne Nebenarme abzuschliefsen und dadurch den Strom etwas mehr zusammen zu halten, so blieb dennoch die Stromregulirung höchst mangelhaft. Im Jahr 1840 flofs hier der Rhein noch in fortwährender Zerspaltung in Nebenarme

---

*) Die sämmtlichen in den *Annales des ponts et chaussées* befindlichen Aufsätze über diesen Gegenstand, sprechen ein solches Mifstrauen gegen Buhnenanlagen aus.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1833. II. p. 1 ff.

zwischen ungedeckten Kiesfeldern, die unaufhörlich abbrachen oder sich ausdehnten, und eine fortwährende, und zwar eine sehr schnelle Umgestaltung des Bettes veranlafsten. Der Strom bot den Anblick der gröfsten Verwilderung, und man sah mit Ausnahme der wenigen Stellen, wo höhere Ufer, die man dem fernern Abbruch entziehn wollte, durch Senkfaschinen im Fufse gedeckt wurden, keine Spur von einer Stromregulirung. Die Zerstörungen, welche die gröfsern Werke erfahren hatten, und die neuen Unordnungen, die dadurch wieder veranlafst waren, sind nach der Beschreibung, die Defontaine davon macht, so übermäfsig, dafs man sich nicht wundern darf, wenn man von dieser Art zu bauen abging, und in neurer Zeit, wie schon erwähnt, sich auf die Deckung der Ufer beschränkte. Der Strom hat längs der frühern französischen Grenze das Gefälle von 1 : 1531, und dabei wird er nirgend von festen Ufern eingeschlossen, sondern sein Bette ist überall in dem abgelagerten Kies eingeschnitten, der in fortwährender Bewegung bleibt, so oft die Strömung ihn trifft. Nichts desto weniger hat die Anordnung der Werke selbst auch viel zu den nachtheiligen Erfolgen beigetragen. Die Grundsätze, worauf sich ein erfolgreicher Strombau basirt, beziehn sich sämmtlich darauf, dafs man nicht gewaltsam neue Verhältnisse herbeiführen kann, sondern in ähnlicher Weise, wie die natürlichen Veränderungen vor sich gehn, mufs der Strom auch durch künstliche Anlagen eine sanfte Einwirkung erfahren, und dadurch veranlafst werden, sein Ufer und sein Bette in der Art umzubilden, wie man beide gestaltet wünscht. Hier wählte man dagegen ein ganz verschiedenes Verfahren. Diejenigen Arme, aus welchen man den Strom zurückweisen wollte, wurden ohne Weiteres gesperrt, und es blieb dem Strome überlassen, sich einen andern Ausweg zu suchen. Dieses war gewifs die Hauptveranlassung des Angriffs, den die Werke selbst, sowie auch die durch sie gesperrten Arme erfuhren. Ein zweiter Umstand, der gleichfalls sehr nachtheilig wirken mufste, war die Höhe, in der man die Werke erbaute, ihre Krone lag zum Theil (z. B. in dem Werke, welches zuerst den Lämmerich Giefsen sperren sollte) 15 Fufs über dem niedrigen Wasser. Die gröfsern Werke, die hier ausgeführt sind, und welche sich so wenig bewährten, waren eigentlich Coupirungen, wodurch Nebenarme gesperrt werden sollten, sie bildeten jedoch für das Hochwasser förmliche Einbaue und traten in einer

Länge von 100 bis 400 Ruthen in das Fluthprofil hinein, während sie bei der Entfernung von etwa einer halben Meile von einander sich unmöglich gegenseitig unterstützen konnten.

Später wurden in Frankreich, um die verschiedenen Ansichten der Ingenieure über die Wirkungen der Einbaue mit der Erfahrung zu vergleichen, auf der Loire, und zwar in einer sehr geraden Stromstrecke, noch besondere Versuche angestellt, doch auch diese fielen wieder höchst ungünstig aus *). Das Bette der Loire mit seinen Spaltungen, Inseln und Sandfeldern, hatte an der zum Versuche gewählten Stelle eine Breite von 63 bis 100 Ruthen. Man erbaute vom rechten Ufer aus, im Abstande von 290 bis 320 Ruthen, drei Werke senkrecht gegen die allgemeine Richtung des Stromes, von denen jedes ungefähr 66 Ruthen lang war, und sich dem gegenüberliegenden Ufer bis auf etwa 30 Ruthen näherte. Ihre Kronen waren, wie es scheint, horizontal und lagen $1\frac{2}{3}$ Fufs über dem Sommerwasser. Zwischen den beiden untern Buhnen schien in den nächsten 3 Jahren ein gerades Bette neben dem linken Ufer sich auszubilden, zwischen die beiden obern warf sich dagegen sehr schnell der Strom stärker hinein, als es früher geschehn war. Nach sieben Jahren war die Strecke mehr verwildert, als vor dem Bau. Die Buhnen hatten nur an ihrer untern Seite einige Verlandung erzeugt, aber augenscheinlich waren sie Veranlassung gewesen, dafs der Strom sich zwischen je zwei stark hineingedrängt hatte und sonach von einem Ufer zum andern in scharfen Krümmungen serpentinirte. An Tiefe war dabei nichts gewonnen. Minard meint, die Buhnen wären noch nicht lang genug gewesen, aufserdem bemerkt er aber, dafs sie zu weit auseinander lagen. Das letzte ist ohne Zweifel richtig, aber hiervon abgesehn kann man von solchen Bauen, welche nur den Strom beschränken, ohne ihn regelmäfsig zu leiten, auch keinen günstigen Erfolg und am wenigsten die regelmäfsige Ausbildung der Ufer erwarten. Letztere ist augenscheinlich ganz undenkbar, wenn man ohne gehörigen Uebergang die Buhnen so weit vortreten läfst, wie bei diesem Versuche geschah.

Ueber den Abstand der Buhnen von einander wird bei Gelegenheit der Anordnung der Strombauwerke die Rede sein, doch mufs schon hier darauf aufmerksam gemacht werden, dafs dabei

---

*) *Minard Cours de Construction.* Paris 1841. p. 77 ff.

keineswegs die Längen der einzelnen Buhnen maafsgebend sind, vielmehr die Breite des regulirten Strombettes, seine Krümmung und die Stärke der Strömung in Betracht kommen.

Die Buhnen sind entweder stromabwärts geneigt, und man nennt sie alsdann declinante Buhnen. In dieser Art wurden sie früher fast ausschliefslich erbaut, und man hatte dabei die Absicht, dafs sie als Richtwerke den Strom leiten sollten, was in der That auch geschah, wenn sie weit genug herabgezogen wurden. Die senkrechten Buhnen treten normal gegen die Richtung des Stromes in das Bette hinein, und wenn sie endlich stromaufwärts gekehrt sind, so heifsen sie inclinante Buhnen.

Welche Richtung unter diesen die vortheilhafteste sei, ist keineswegs allgemein anerkannt, obwohl die schon oben angeführten Erfahrungen darüber entschieden haben. Schon Bélidor sagt *), dafs diejenigen Einbaue, welche stromaufwärts gekehrt sind (also die inclinanten), zwischen sich die stärkste Verlandung erzeugen. Diese Ansicht hat sich in neurer Zeit in Deutschland ziemlich allgemein geltend gemacht, nur Woltman hat sich in dem bereits angeführten Aufsatze noch im Jahr 1833 für die declinanten Werke ausgesprochen. In Holland befolgt man die Methode, dafs bei einem ganzen Systeme von Einbauen, der oberste stark declinant und alle übrigen senkrecht gerichtet werden. An der Tyne oberhalb Newcastle sah ich dagegen schon vor mehreren Jahrzehenden lange Reihe von Buhnen die inclinant und ganz in derselben Weise, wie man sie bei uns anordnen würde, erbaut waren.

Um die Wirkungen der verschiedenen Buhnen zu prüfen, versuchte ich in einem kleinen künstlichen Canale die Ablagerung und das Abtreiben des Sandes zu beobachten. Fig. 86, Taf. XI. stellt die Resultate dieses Versuches dar. Die punktirten Stellen bedeuten dabei die Ablagerung des Sandes und die schraffirten die Ausspülung desselben. Es traten indessen während der Versuche manche Anomalien ein, woher die Wirkung sich nicht so gleichmäfsig zeigte, wie die Zeichnung es angiebt. Häufig wurde, ohne dafs ich den Grund davon bemerken konnte, der Sand plötzlich von einer Stelle fortgeführt, oder auf einer andern aufgehäuft, und so änderte sich fortwährend die Ablagerung. Die Strömung war durchaus gleich-

*) *Architecure hydraulique. Tome IV.* §. 1012.

mäfsig, indem der Zufluſs des Wassers durch einen schwimmenden Heber erfolgte. Der feine Sand floſs indessen nicht gleichmäfsig zu, sondern wurde in gröfsern Massen eingeworfen, und lagerte sich oft ziemlich hoch im Bette des Canales ab. Indem er langsam weiter getrieben wurde, gab er wahrscheinlich die Veranlassung zu den eintretenden Veränderungen. Die Einbaue bestanden aus metallenen dreiseitigen Pyramiden, die auf einer der drei Seiten ruhten, und daher solche Werke vorstellten, deren Krone von der Wurzel nach dem Kopfe stark abfällt und im Flufsbette ausläuft. Zwischen den senkrechten Buhnen, die mit *A* bezeichnet sind, lagerte sich der Sand merklich ab, doch erlaubte die wirbelnde Bewegung nicht, dafs er sich an eines der Werke anschliefsen konnte, und ebenso wenig geschah dieses unmittelbar neben dem Ufer. Die Strömung vor den Köpfen blieb ziemlich mäfsig, so dafs hier nicht selten der Boden des Canales bedeckt wurde. Wenn die Einbaue stromabwärts oder declinant gestellt wurden wie in *B*, so war die Ablagerung des Sandes schwächer, während der Angriff auf die Sohle vor den Köpfen sich etwas verstärkte. Bei der dem Strome zugekehrten, oder inclinanten Richtung der Buhnen, verstärkte sich die Strömung vor den Köpfen noch mehr und der Sand wurde hier vollständig fortgetrieben, während er in den Intervallen viel reichlicher, als in beiden ersten Fällen sich ablagerte. *C* deutet die Erfolge dieser letzten Richtung an.

Bei der grofsen Beweglichkeit des Wassers darf man wohl erwarten, dafs die Wirkungen, die in dem kleinen Canale beobachtet wurden, ungefähr denjenigen entsprechen, die in Strömen und Flüssen eintreten, zwischen beiden zeigt sich in der That ein unverkennbarer Zusammenhang, doch darf man nicht unbeachtet lassen, dafs die viel gröfsern Massen im letzten Falle die innern Bewegungen wesentlich befördern, und demnach bei gleicher mittlerer Geschwindigkeit (in der allgemeinen Richtung des Stromes gemessen) auch viel auffallendere Wirkungen veranlassen. Die Beobachtungen im Grofsen werden wesentlich dadurch erschwert, dafs in den Strömen weder der Wasserstand noch die Geschwindigkeit dauernd dieselbe bleibt, man also nicht mit Sicherheit angeben kann, unter welchen Umständen dieser und jener Erfolg eingetreten ist.

Es mag noch bemerkt werden, dafs die Schiffer sich vorzugsweise für die declinanten Werke aussprechen und immer wünschen,

dafs diese unter einem möglichst spitzen Winkel gegen den Stromstrich gelegt werden. Sie können alsdann zur Seite derselben, wie an einem Parallelwerke sicher herabfahren, während viel gröfsere Aufmerksamkeit erfordert wird, um dem Kopfe einer inclinanten Buhne auszuweichen. Sobald man aber auf die regelmäfsige Ausbildung der Ufer Rücksicht nimmt, so zeigen sich die inclinanten Buhnen, wenn sie passend angeordnet werden, stets als die wirksamsten, und durch die declinanten wird am wenigsten dieser Erfolg herbeigeführt. Letztere verhindern nicht nur die Verlandung in dem Raume zwischen sich und dem Ufer, sondern sie versetzen dieses aufserdem noch in Abbruch. Um solchen Uebelständen zu begegnen pflegte man früher sie am untern Ende noch mit einem Anschlufs zu versehn, so dafs ein geschlofsnes Dreieck gebildet wurde, welches aus einer declinanten und einer inklinanten Buhne bestand, die beide einen gemeinschaftlichen Kopf hatten. Wiebeking empfahl diese Anordnung, die er ein Triangel-Werk nannte. Der Vortheil den man dabei erreicht, besteht nur in der Vertheilung des Gefälles, also in der Mäfsigung des Stromes des überstürzenden Wassers, während die Verlandung des eingeschlossenen Raumes wohl niemals vollständig erfolgt.

Um die passende Anordnung der Buhnen an einem Beispiele zu zeigen, mag auf Fig. 88 verwiesen werden. Der Strom war in dieser Strecke durch eine Insel gespalten, und das tiefste Fahrwasser zog sich in scharfer Krümmung durch den linkseitigen Arm nach der punktirten Linie, während der rechtseitige eine viel regelmäfsigere Gestaltung des Stromlaufes gestattete. Der letztere mufste daher zum Hauptarme ausgebildet, und ihm die ganze Wassermasse bei kleinem Wasser zugewiesen werden. Der linke Arm wurde daher zunächst durch die Coupirung bei F geschlossen, um aber die Schiffahrt nicht zu unterbrechen wurde gleichzeitig die Sandbank im rechten Arme bei LM durchbaggert und nunmehr führte man die Buhnen bei I, K, N, G und H aus, während das Ufer zwischen I und G, das in der Concave lag, unmittelbar gedeckt wurde. Die Linien AB und CD bezeichnen den Leinpfad, der über die frühere Insel gelegt werden mufste.

§. 25.
Stromspaltungen.

Wenn zwei Ströme zusammenfliefsen und sich zu einem verbinden, oder wenn ein Strom sich in zwei Arme spaltet, so bemerkt man ganz allgemein, dafs die Breite des vereinigten Stromes zwar gröfser, als die jedes einzelnen, aber nicht so grofs, als die Summe von beiden ist. Die Erklärung dieser Erscheinung ergiebt sich aus den Gesetzen über die gleichförmige Bewegung des Wassers (§. 18.).

Wenn man in dem Ausdrucke

$$c = k \sqrt{t} \cdot \sqrt[6]{\alpha}$$

staft der mittlern Geschwindigkeit c die Wassermenge M und die Profilfläche bt einführt, so ergiebt sich

$$M = k b t \sqrt{t} \sqrt[6]{\alpha}$$

Hieraus folgt, dafs die Breite b der Wassermenge proportional, also eben so wie diese zu- oder abnehmen würde, wenn nicht nur das Gefälle α, sondern auch die mittlere Tiefe dieselbe bliebe. Letzteres ist indessen nicht der Fall, bei gleicher Bodenbeschaffenheit und gleichem Gefälle stellen sich vielmehr ungefähr dieselben Böschungen des Flufsbettes, oder im Allgemeinen ähnliche Querprofile dar. Eine richtigere Voraussetzung ist es daher, dafs in den verschiednen Profilen die Gröfse b und t in einem constanten Verhältnifs zu einander stehn, also $b = nt$. Durch Einführung dieses Werthes, und wenn man die constanten Factoren α, k und n zusammenfafst, erhält man schliefslich

$$b = k' M^{\frac{2}{5}}$$

Gesetzt, dafs beide Arme gleiche Wassermengen M abführen, woraus sich nach den gemachten Voraussetzungen auch eine gleiche Breite für beide ergiebt, so fände man nach ihrer Vereinigung die Breite des Stromes

$$\begin{aligned} b' &= k' (2M)^{\frac{2}{5}} \\ &= 2^{\frac{2}{5}} \cdot b \\ &= 1{,}32 \cdot b \end{aligned}$$

das heifst, die Breite des vereinigten Stroms ist nur etwa um den dritten Theil gröfser als die der beiden einzelnen war. Wenn sich aber umgekehrt der vereinigte Strom in zwei gleiche Arme spaltet, so ist die Breite jedes einzelnen oder b

$$b = (0{,}5)^{\frac{2}{3}} \cdot b'$$
$$= 0{,}75 \cdot b'$$

also drei Viertheile der Breite des ungespaltenen Stromes. Man sieht hieraus, welcher Vortheil in Bezug auf die Ausdehnung der nutzbaren Bodenfläche durch die Vereinigung verschiedener Arme herbeigeführt wird, der wichtigere Nutzen dieser Vereinigung liegt aber darin, dafs das gemeinschaftliche Bette eine gröfsere Tiefe erhält, und dadurch die Zwecke der Stromregulirung vollständiger erfüllt werden, die Länge der zu unterhaltenden Ufer verkürzt sich bei Schliefsung eines Nebenarmes um die Hälfte, sowie endlich beim Eisgange die Spaltungen des Stromes in verschiedene Arme immer besonders nachtheilig zu sein pflegen.

Dafs sich dergleichen Spaltungen von selbst bilden, leidet keinen Zweifel. In den Betten aller Ströme, die sich selbst überlassen sind, pflegen vielfache Inseln vorzukommen, und besonders vor den Ausmündungen in das Meer sind dergleichen Spaltungen sehr gewöhnlich. Die drei Hauptströme, welche an unserer Ostsee-Küste münden, zeigen diese Erscheinung. Der Memel-Strom oder Niemen fliefst durch zwei Arme, den Russ und die Gilge in das Curische Haff. Die Weichsel spaltet sich vor der künstlich verlängerten Landzunge, die Montauer Spitze genannt, in die Nogat und Weichsel. Erstere fliefst vor Marienburg vorbei, und ergiefst sich durch eine grofse Anzahl kleiner Arme in das Frische Haff, die Weichsel dagegen fliefst in nördlicher Richtung der Ostsee zu, und nachdem sie sich bis nahe auf eine Meile der Küste genähert hat, spaltet sie sich bei Rothe-Bude aufs Neue. Der schwächere Arm, die Elbinger Weichsel, der indefs sehr stark versandet, fliefst ostwärts in das Frische Haff, in welches er wieder durch mehrere Arme eintritt. Der linkseitige Arm, die Danziger Weichsel, zieht sich westlich längs der Küste fort, bis Danzig, und mündet neben dem Hafen Neufahrwasser in die Ostsee. Dieser Arm hat vor 30 Jahren seinen Lauf verändert. Bei einer starken Eisstopfung durchbrach er in der Nacht vom 31. Januar zum 1. Fe-

bruar 1840 die etwa ein Achtel Meile breite Landzunge neben dem Dorfe Neufähr und eröffnete sich hierdurch in der Entfernung von einer Meile von Danzig plötzlich einen neuen um 1¼ Meilen kürzeren Ausweg nach der See. Bei der Oder kommen endlich schon vor der Mündung in das Haff manche Spaltungen vor: besonders wichtig sind sie aber zwischen dem Haff und der See, wo drei bedeutende Verbindungen, die Dievenow, Swine und Peene existiren.

Ein auffallendes Beispiel von Stromspaltungen zeigt auch der Rhein in den Niederlanden, und dieses ist um so wichtiger, als sich dabei mit grofser Sicherheit seit nahe 2000 Jahren die eingetretenen Hauptveränderungen historisch nachweisen lassen. Ohne auf die Quellen weiter zurückzugehn, führe ich hier dasjenige an, was Cornelius Velsen *) mittheilt.

Um das verschiedenartige Verhalten des Meeres vor der Niederländischen Küste in den Mündungen des Rheins zu erklären, mufs man auf ein Ereignifs zurückgehn, welches vor der historischen Zeit eintrat. Der Boden in Holland ist nämlich grofsentheils aufgeschwemmt, und seine Beschaffenheit und Höhenlage gestattet keinen Zweifel, dafs er durch die Niederschläge der hier mündenden Ströme, also namentlich des Rheins und der Maafs gebildet wurde. Gegenwärtig findet vor der eigentlichen Küste, also an der äufsern Umgrenzung des Landes gegen das Meer kein ferneres Anwachsen des Bodens statt, sondern derselbe wird vielmehr, wo man nicht durch kostbare Anlagen ihn sichert, immer weiter abgebrochen. Wenn aber hin und wieder ein neuer Anwuchs sich auch jetzt noch zeigt, so besteht er nicht aus dem fetten Marschboden, oder dem Niederschlage aus dem Flufswasser, sondern er bildet sich durch den rein ausgewaschnen quarzigen Seesand, den das Meer auswirft. Beide Arten von Ablagerungen kommen auch an den Mündungen der Weichsel vor: die Nogat und ebenso die Elbinger Weichsel, die sich in das Frische Haff ergiefsen, dehnen ihre Ufer, aus Marschboden bestehend, immer weiter aus, der dritte Arm dagegen, die Danziger Weichsel, der unmittelbar in die See mündet, bildet nur Sandablagerungen. Der Unterschied begründet sich darin, dafs die Bewegung des Wassers in der abgeschlossnen Bucht, oder

*) Rivierkundige Verhandeling door Cornelius Velsen. Harlingen 1768. II. Hoofdstuk van den Staat van de Rivieren. p. 107 ff.

im Haff weniger heftig, als in der offnen See ist, und daher die Stoffe, welche im Flufswasser schwimmen, sich ausscheiden und niedersinken können, während sie andrerseits durch den Wellenschlag schwebend erhalten und bis zur Tiefe des Meeres, wo die Wellenbewegung aufhört, fortgeführt werden. Diese Verschiedenheit, welche an der Mündung der Weichsel-Arme sich auch jetzt noch zu erkennen giebt, läfst auf die Verhältnisse schliefsen, welche vor der Holländischen Küste früher stattgefunden haben. Die ausgedehnten Flächen des Marschbodens konnten sich nur bilden, so lange die Nordsee davor ein abgeschlossner Busen war, und sie war dieses ehe die Meerenge zwischen Dover und Calais bestand, oder so lange England mit Frankreich noch zusammenhing. Die beiderseitigen Küsten stehn noch fortwährend im Abbruch, die Oeffnung erweitert sich also dauernd, und um so kräftiger werden die Wirkungen der Fluthströmung und des Wellenschlages im südlichen Theile der Nordsee. Die Tradition unterstützt auch die Vermuthung, dafs der Canal einst gar nicht bestand. Die Cimbrische Fluth soll ihn eröffnet haben. Velsen nimmt an, dafs dieses Ereignifs 100 bis 150 Jahr vor Christi Geburt eingetreten sei.

Als die Römer in diese Gegenden kamen, spaltete sich schon der Rhein in der Gegend von Lobith in zwei Arme, den Rhein und die Whaal. Der erste, welcher damals der Hauptstrom war, flofs wie jetzt bei Arnheim vorbei bis gegen Wijk by Duurstede, von hier ab verfolgte er aber die noch bestehenden, aber jetzt ganz abgeschlossenen Canäle, der Krumme Rhein und der Alte Rhein genannt, welche sich bei Utrecht, Woerden und Leyden vorbeiziehn. Er mündete bei Katwijk op Zee in die Nordsee. Der andre Arm, die Whaal, welche ursprünglich nur ein Nebenflufs der Maas war und wahrscheinlich mit dem Rhein nicht in Verbindung stand, verfolgte denselben Lauf, den sie noch jetzt hat, bei Nymwegen, Thiel, Gorkum, Dortrecht vorbei und ergofs sich etwa zwei Meilen westwärts von Rotterdam bei Giervliet in die Maas. Die Maas endlich stand beim Fort St. Andries noch nicht mit der Whaal in Verbindung, und flofs von Huisden nach Gertruidenburg, durch den Biesbosch und das Dortrechter Eiland bei Giervliet vorbei, wo sie die Whaal aufnahm, und mündete bei Briel in die Nordsee. Die Yssel, welche in der Nähe von Wesel entspringt, flofs in dem Wege, den sie auch heute noch verfolgt, bei Anholt, Doesburg, Zütphen, De-

venter vorbei, nach Kampen in den Zuider-See *). Mit dem Rhein war die Yssel noch nicht verbunden.

Die Eindeichung der Fläche zwischen dem Rhein und der Whaal (Insula Batavorum) wurde unter Drusus 13 Jahre vor Christus begonnen, und sechzig Jahre darauf beendigt.

Zwölf Jahre vor Christus wurde eine Anlage ausgeführt, die den wesentlichsten Einfluſs auf die Verhältnisse des Rheins ausgeübt hat. Drusus Germanicus ließ nämlich, um eine schiffbare Verbindung des Rheins mit dem Zuider-See darzustellen, einen Canal von dem Rhein, oberhalb Arnheim, nach der bisher ziemlich unbedeutenden Yssel ausführen. Dieser Canal nahm nach und nach an Breite und Tiefe zu, und entzog dadurch dem Rhein einen groſsen Theil seines Wassers. In gleicher Weise geschah dieses durch einen zweiten künstlichen Canal, den wahrscheinlich Corbulo im Jahr 51 nach Christus eröffnete. Dieser letzte Canal verband den Rhein in der Nähe von Wijk by Duurstede mit der Whaal bei Lecksmonde. Er hat im Laufe der Zeit den ganzen Rhein aufgenommen und später den Namen Leck erhalten. Auf diese Weise waren die Spaltungen künstlich vermehrt worden, und indem das Wasser nach Umständen bald durch einen, und bald durch den andern Arm sich ergoſs, verlandeten sie sämmtlich stärker als früher in den ungetheilten Strombetten.

Lange Zeit hindurch fehlen Nachrichten über die weitern Veränderungen der Rheinarme. Mehrere Jahrhunderte später war der untere Rhein unterhalb der Abzweigung des Leck ein unbedeutender Fluſs geworden. Im Jahre 860 soll seine Mündung während eines Sturmes ganz versandet sein, doch muſs sie sich seitdem wieder geöffnet haben, da der Kaiser Friedrich I. im Jahr 1165 dem Grafen von Holland, Floris III., befahl, den Damm wegzuräumen, wodurch er den Rhein bei Zwadenburg (jetzt Zwammerdam) zwischen Woerden und Leyden gesperrt hatte.

In welcher Zeit der alte Rhein sich schloſs, und in welcher Zeit die mehrfachen Verbindungen der Whaal mit der Maas sich entweder von selbst darstellten, oder künstlich eröffnet wurden, ist

---

*) Ich habe den Lauf der Flüsse durch die Orte bezeichnet, die jetzt vorhanden sind: es soll durch das Mitgetheilte aber keineswegs gesagt sein, daſs dieselben schon damals existirten.

unbekannt. Im 12ten und 13ten Jahrhundert wurden aber vielfache Deichanlagen ausgeführt, und es entstand damals das ganze Deichsystem, wie es jetzt besteht. Dafs man hierbei nur das augenblickliche Interesse der Landeskultur im Auge hatte, ohne die gehörige Regulirung der Ströme dabei zu berücksichtigen, darf kaum erwähnt werden, und so geschah es, dafs die Deiche wieder Veranlassung zur Verwilderung der Ströme wurden, und manche Deichbrüche neue Stromarme eröffneten. Das auffallendste Beispiel dieser Art war der Durchbruch der Whaal und Maas in den Südholländischen Waard oder in das Bergsche Feld. Die Maas hatte sich im untern Theile ihres Laufs bereits mit der Whaal vereinigt, und beide durchbrachen am 18. November 1421 zwischen Woudrichem und Dortrecht den linkseitigen Deich, und zerstörten, indem sie sich in das niedrige Land ergossen, eine Fläche von vielen Quadratmeilen. Sie eröffneten sich dabei eine neue Mündung in das Meer durch den weiten und tiefen Busen des Biesboches, durch das Hollands-Diep und durch den Krammer. Es wurden bei diesem Einbruche zwei und siebenzig Dörfer nebst vielen kleinern Besitzungen zugleich mit dem Boden, worauf sie standen, durch das Wasser zerstört *). Diese Verwüstung erklärt sich nur dadurch, dafs das Meer bei jeder Fluth hineindrang und bei jeder Ebbe wieder zurückwich, wodurch die heftigen Strömungen sich fortwährend wiederholten, welche den Boden aufwühlten und der See zuführten. Eine Folge dieses Durchbruches war, dafs die Whaal nunmehr schon im Biesbosch, also 10 Meilen vor ihrer früheren Mündung den Wasserspiegel der Nordsee antraf, und daher von jetzt ab um soviel ihren Lauf verkürzte. Dadurch vergröfserte sich ihr relatives Gefälle bis zum Trennungspunkte bei Lobith, der Zudrang des Wassers zu ihr vermehrte sich, und in gleichem Maafse, wie ihr Bett sich vertiefte und ausbildete, so wurde das des Rheins und des Lecks und der Yssel wegen des verminderten Zuflusses verflacht. Diese Verhältnisse, welche eine vollständige Sperrung der schwächeren Arme, und zugleich die Wiedervereinigung des Stromes in einem einzigen Schlauche mit der Zeit hoffen liefsen, erlitten indessen, da man sie ganz sich selbst überliefs, nach einigen Jahrhunderten eine wesentliche Veränderung.

---

*) Blanken, Memorie betrekkelijk den Staat der Rivieren. Utrecht 1823. pag. 22.

Der Biesbosch war durch den Niederschlag des Stroms und des Fluthwassers nach und nach wieder aufgewachsen, und an die Stelle des weiten Meerbusens war ein Sumpf getreten, in welchem einzelne Inseln bereits über den gewöhnlichen Wasserstand hervorragten. Sie waren mit Gras und Strauch bewachsen und wurden sogar behufs der bessern Benutzung bereits eingedeicht. Eine grofse Anzahl von flachen Wasserläufen zog sich dazwischen hin, diese waren aber nicht mehr im Stande, den gröfsten Theil der Wassermenge des Rheins abzuführen, und noch weniger konnte der Wasserspiegel der See sich schon in ihnen einstellen. Der niedrige Wasserstand in der Whaal verschwand daher und mit ihm das bisherige stärkere Gefälle. Der Rhein und Leck und ebenso auch die Merwede oder der untere Theil der Whaal empfingen daher wieder einen stärkern Zufluſs, während in Folge der vorhergehenden schwächern Strömung die Tiefe derselben sich vermindert hatte. Nur durch die Erhöhung der Deiche war man im Stande, die Ströme in ihrem Bette zu erhalten, aber diese nahmen eine so bedenkliche Höhe an, dafs nicht nur die natürliche Entwässerung zum grofsen Theil aufhörte, sondern auch die Gefahr der Deichbrüche immer zunahm und die Existenz mancher bedeutenden Orte bedroht wurde. Seit etwa drei Jahrhunderten besteht dieser Zustand, und erst in der neusten Zeit sind namentlich durch die Eröffnung eines ungetheilten Stromlaufes durch den Biesbosch wesentliche Verbesserungen eingeleitet.

Wenn zwei oder mehrere Stromarme dauernd neben einander bestehn, so pflegt keiner unter allen Umständen Hauptarm zu sein. Wäre dieses der Fall, so würde der zweite und die andern Arme bald verlanden. Dieses geschieht in der That, wenn eine Serpentine durch die natürlichen Veränderungen durchbrochen oder künstlich durchstochen wird. Häufig sind indessen die Umstände von der Art, dafs der eine Arm vorzugsweise zur Abführung des kleinen Wassers geneigt ist, und der andre zu der des Hochwassers. Der Grund hiervon kann theils in der Richtung der obern Mündungen liegen, welche abwechselnd mit der des Stromes zur Zeit der verschiedenen Wasserstände zusammenfällt. Wenn jedoch die Arme eine grofse Länge haben, so kommt es auf die Richtung der Mündung weniger an, indem die Gestaltung des Flufsbettes und des Thales vorzugsweise von Einfluſs sind. Das Hoch-

wasser, welches die Thalsohle und die niedrigen Ufer überfluthet, verfolgt im Allgemeinen den mehr geraden und kürzeren Weg, während dieser für das niedrige Wasser gesperrt ist.

Es ergiebt sich hieraus, wie schwierig es ist, eine heilung des Stromes darzustellen, wobei dauernd beide Arme nicht nur offen bleiben, sondern auch eine gewisse Tiefe in ihren Betten erhalten, oder wohl gar in bestimmtem Verhältnisse die Wassermenge des Stromes unter sich vertheilen sollen. Wird die letzte Aufgabe gestellt, so könnte man die zu wählenden Profilweiten freilich mit einiger Sicherheit bestimmen, doch bliebe immer zu besorgen, dafs der eine Arm mehr als der andre sich vertieft oder verlandet.

Das absolute Gefälle ist in beiden Armen gleich grofs, indem beide sich entweder weiter unterhalb wieder vereinigen, oder in das Meer oder einen Busen desselben ausmünden. Das relative Gefälle ist sonach umgekehrt der Länge jedes Armes proportional, und da diese Länge bei allen Wasserständen unverändert bleibt, so ändert sich auch nicht das Verhältnifs der beiden relativen Gefälle gegen einander.

Das Gefälle des ersten Armes sei α, das des andern $\beta\alpha$, wo β ein constanter Factor ist. Aufserdem darf man auch in diesem Falle wieder voraussetzen, dafs die mittlere Tiefe in constantem Verhältnifs zur Breite des Profils steht, also $t = \nu b$. Endlich aber sei die Bedingung gestellt, dafs die beiden abzuführenden Wassermengen M und M' sich wie $m : n$ gegen einander verhalten sollen. Man hat alsdann

$$M = k \,.\, \nu^{\frac{3}{2}}\, b^{\frac{5}{2}} \,.\, \sqrt[6]{\alpha}$$

und

$$M' = k \,.\, \nu^{\frac{3}{2}}\, B^{\frac{5}{2}} \,.\, \sqrt[6]{\beta} \,.\, \sqrt[6]{\alpha}$$

aber

$$M' = \frac{n}{m}\, M$$

daher

$$B^{\frac{5}{2}} \,.\, \sqrt[6]{\beta} = \frac{n}{m}\, b^{\frac{5}{2}}$$

oder

$$B \,.\, \sqrt[15]{\beta} = b \,.\, \left(\frac{n}{m}\right)^{\frac{2}{5}}$$

folglich

$$B : b = \left(\frac{n}{m}\right)^{\frac{2}{5}} : \sqrt[15]{\beta}$$

Wenn die Längen der beiden Arme, und folglich auch die relativen Gefälle derselben nicht sehr verschieden sind, so ist die 15te

Wurzel von β sehr nahe gleich Eins. Beispielsweise sei β gleich 0,75, so ist diese Wurzel 0,981. Wenn dagegen $\beta = 1{,}25$ ist, so wird die Wurzel 1,015. Die Differenzen gegen die Einheit betragen bei diesen sehr bedeutenden Abweichungen der Gefälle noch nicht 2 Procent.

Soll nun die Vertheilung der Wassermassen in der Art erfolgen, dafs M' gleich $\frac{2}{3}$ und M gleich $\frac{1}{3}$ der ganzen Wassermasse, oder $\frac{n}{m} = 2$ ist, so ergiebt die Rechnung mit Berücksichtigung der verschiedenen Gefälle

im ersten Falle $B : b = 1 : 0{,}7435$
im zweiten dagegen $B : b = 1 : 0{,}7692$
und wenn man $\beta = 1$ setzt $B : b = 1 : 0{,}7579$

Man wird daher ohne merklichen Fehler gewöhnlich annehmen dürfen

$$B : b = \left(\frac{n}{m}\right)^{\frac{2}{3}} : 1$$

Das Resultat schliefst sich sonach an das im Anfange dieses Paragraphen gefundene an, wobei die Gefälle als gleich angenommen waren. Aus dem vorstehend angegebenen Werthe für M läfst sich aber leicht die absolute Gröfse von b und B berechnen.

Wenn eine Stromspaltung nicht aufgehoben, wohl aber in einem der beiden Arme die Tiefe vergröfsert werden soll, so kann durch Regulirung der Ufer auf diesen Zweck wohl hingewirkt werden, die Beschränkung der Breite, wodurch im ungetheilten Strome die Vertiefung am sichersten erreicht wird, mufs dagegen ausgeschlossen bleiben. In diesem Falle ist nämlich die Wassermasse, welche den zu vertiefenden Arm durchströmt, keineswegs als constant anzusehn, sobald man daher durch Einschränkung ihren Abfluſs erschwert, also einigen Aufstau erzeugt, so wird dadurch die Strömung in dem andern Arme befördert, und jener erste geschwächt. Es kann alsdann leicht geschehn, dafs die Anlage, welche den Arm vertiefen sollte, sogar seine Verflachung veranlafst.

Beispiele hiervon findet man nicht selten. Als die Verbindung der Whaal mit dem Biesbosch nach und nach verlandete, und die Verflachungen der Strombetten sich zu erkennen gaben, wurde die

Absicht der Stadt Dortrecht, alle Stromläufe durch den Biesbosch zu schliefsen und die Whaal oder Maas wieder in ihr altes Bette zu weisen, durch die Eifersucht der andern Staaten vereitelt. In dieser Verlegenheit entschlofs man sich, den Strom vor Dortrecht einzuschränken, und erbaute im Jahr 1663 der Stadt gegenüber eine lange Buhne, den sogenannten Papendrechtschen Fährdamm. Der Erfolg dieser Anlage war jedoch ein ganz andrer, als man erwartet hatte, denn die Maas versandete nunmehr noch stärker, als vorher.

Eine solche Schwächung des Stromes durch Verengung des Profiles kann jedoch nur eintreten, wenn der dadurch erzeugte Aufstau sich bis zum Theilungs-Punkte beider Arme aufwärts erstreckt. Ist dieses nicht der Fall, so darf auch hier die übliche Methode der Regulirung Anwendung finden. Dabei ist noch darauf Rücksicht zu nehmen, dafs in der künstlich beengten Stelle die Vertiefung um so schneller eintritt, oder der Stau um so früher verschwindet, je freier das Unterwasser abfliefsen kann, also je tiefer es bereits sich gesenkt hat. Hieraus dürfte sich die Regel begründen, dafs man in dem zu vertiefenden Arm eines gespaltenen Stromes zunächst die untere mangelhafte Strecke reguliren, und von dieser der Reihe nach zu den weiter aufwärts belegenen übergehn mufs.

Wenn es dagegen Absicht ist, einen Arm zur Verlandung zu bringen, so wird eine Verengung, die man am obern Theile vornimmt, den Erfolg haben, dafs das Wasser des ungetheilten Stromes sich mehr in den andern Arm wirft. Im Trennungspunkte selbst wird ein solcher Erfolg häufig durch die Richtung des strömenden Wassers vereitelt. Wenn vielleicht der Arm, den man schliefsen will, einen starken Strom aufnimmt, und man führt eine sogenannte Schöpfbuhne in denselben hinein, um das Wasser abzuschneiden und es in den andern Arm zu weisen, so wirkt diese Buhne in gleicher Art, wie andre Einbaue, und wenn man nicht etwa auf eine allmählige Ablenkung des Stromes und auf eine Umgestaltung des tiefen Schlauches schon vorher hingewirkt hat, so ist die vor dem Kopfe des Werkes eintretende grofse Vertiefung dem Zwecke der Anlage durchaus zuwider, und kann Veranlassung sein, dafs das Wasser sich stärker, als früher in diesen Arm stürzt. Solche Erfolge zeigen sich aber nicht nur bei der Anlage von Wer-

ken im Trennungspunkte selbst, sondern sie kommen nicht selten auch bei Ausführung der Sperrbuhnen oder der Coupirungen vor, durch welche man Stromarme ganz abschliefsen will. Diese Coupirungen sind, ehe sie geschlossen werden, wieder nichts anderes, als gewöhnliche Buhnen, die einander gerade gegenüber stehn, und wenn der Boden in dem noch offnen Zwischenraume zwischen ihren Köpfen nicht vorher gedeckt ist, so bildet sich daselbst leicht eine sehr grofse Tiefe, die wieder Veranlassung sein kann, den Strom vorzugsweise in diesen Arm hineinzuweisen.

Ein solcher Erfolg ist vorzugsweise zu besorgen, wenn man die Coupirung auf diejenige Sand- oder Kiesbank legt, die bisher die kräftige Durchströmung dieses Armes verhinderte. Als Wiebeking im Jahre 1790 den rechtseitigen Rheinarm am Fufse des Siebengebirges zwischen der Insel Grafenwerth und dem Ufer schliessen wollte, und von beiden Seiten aus die Flügel des Coupirungsdammes sich einander näherten, vergröfserte sich die Tiefe hier so sehr und die Durchströmung des ganzen Armes wurde so stark, dafs selbst die in der Thalfahrt begriffenen Schiffe hineingezogen wurden, was vorher nie geschehn war. Es gelang zwar endlich, den Bau zum Schlufs zu bringen, doch ist er bald darauf wieder durchbrochen und spurlos verschwunden. Später ist die Schliefsung des Armes sehr solide erfolgt.

Beim Schliefsen der Stromarme finden dieselben Regeln Anwendung, die schon über die Umformung der Strombetten mitgetheilt sind. Wenn es Absicht ist, das Bette eines Armes in eine nutzbare Fläche umzubilden, so darf man es nicht sogleich ganz abschliefsen, denn in diesem Falle wird auch dem Material, welches sich darin ablagern soll, der Zugang gesperrt. Es mufs vielmehr dafür gesorgt werden, dafs selbst schwerere Stoffe, die sich nicht weit von der Sohle entfernen, noch hineintreiben können. Es kommt also darauf an, die Strömung nur zu mäfsigen, sie aber nicht ganz aufzuheben. Hierzu bietet der oben erwähnte Umstand, nämlich die gegenseitige Abhängigkeit der Strömung in beiden Armen, eine günstige Gelegenheit. Wenn man in dem Arme, der geschlossen werden soll, so oft es die Umstände erlauben, die Profile stellenweise verengt und dadurch das Wasser etwas zurückdrängt, so vergröfsert sich sogleich um eben so viel die Wassermenge im andern Arme, und verstärkt ihren Angriff auf denselben. Es ist

aber dafür zu sorgen, dafs durch diese Anlagen kein neuer Angriff auf das Bette des ersten Armes erzeugt wird, daher müssen alle Werke, welche einen solchen veranlassen können, möglichst vermieden werden. Man darf daher den Strom nicht gewaltsam zurückweisen, sondern nur durch behutsames Einwirken ihn nach und nach ablenken. Die Gelegenheit hierzu findet sich in den meisten Fällen, und die Erfolge treten alsdann auch bald ein. Es kommt nur darauf an, dafs man mit ununterbrochener Aufmerksamkeit auf diesen Zweck hinwirkt, und jede Untiefe, die sich im Bette des Armes oder am Ufer zeigt, sogleich mit leichten Werken und Zäunungen nicht nur vor einem Wiederabbruch sicher stellt, sondern auch durch Beförderung der fernern Ablagerung des Materials sie zu erhöhen sucht. Der Umstand, dafs die Verflachung sich gezeigt hat, ist schon der Beweis, dafs der Strom zum Absetzen der Sinkstoffe geneigt ist, und indem man von solcher Gelegenheit immer Nutzen zieht und das Gewonnene festhält, so bleibt der Erfolg nicht aus, namentlich wenn man im andern Arme ein gerade entgegengesetztes Verfahren beobachtet, und die Angriffe möglichst befördert und den Verlandungen vorbeugt. Von besonderer Wirksamkeit für die schnelle Verlandung im ersten Arme sind die lebendigen Pflanzungen, die immer um so kräftiger anwachsen und daher immer um so mehr auf die Beruhigung des Wassers hinwirken, je stärker das Material sich zwischen ihnen ablagert. Die eigentliche tiefe Stromrinne des abzusperrenden Armes wird hierbei nicht unmittelbar angegriffen, aber indem die Profilweite immer mehr und mehr abnimmt, und der andre Arm sich zum Hauptstrome ausbildet, so wird in dem erstern die Strömung zur Zeit des Hochwassers geschwächt, und die grofse Tiefe verschwindet von selbst, besonders in der obern Mündung, wo die schweren Stoffe am leichtesten hineingeschoben werden.

In dieser Weise hat Bauer einige Arme des Rheins, und zuletzt den Arm neben der Rodenkircher Insel, etwa eine Meile oberhalb Cöln geschlossen, ohne dafs der Bau selbst Schwierigkeiten bot, noch auch die Werke lange Zeit hindurch einem starken Angriff ausgesetzt blieben.

Wenn die Stromarme nicht lang sind, so hängt die Stärke des Stromes, den sie aufnehmen, ohne Zweifel sehr von der Richtung ihrer Mündung gegen den vorhergehenden Strom ab. Indem

das Wasser an den Theilungspunkt gelangt, verfolgt es seine frühere Richtung und tritt in denjenigen Arm, der dieser am besten entspricht. Man kann daher in solchem Falle durch gehörige Regulirung der oberhalb belegenen Stromstrecke das Wasser in einen der Arme hineinweisen, und die Erweiterung und Vertiefung desselben vom Strome selbst erwarten. Wenn indessen die Arme sehr lang sind, so läfst sich von der Umgestaltung der Mündung der ganze Erfolg noch nicht erwarten. Wenn die Schöpfbuhnen, wie bereits erwähnt, nur von zweifelhaftem Erfolg sind, so mufs man doch die Landzunge, welche den Strom spalten soll, in solcher Richtung herauszuführen, dafs die Mündung eine regelmäfsige Begrenzung erhält. Eben so nothwendig ist es aber auch, die Dauer dieser regelmäfsigen Mündung zu sichern, und namentlich die vortretende Spitze, welche durch Fluthen und besonders durch Eis bedroht wird, vor Beschädigungen sicher zu stellen. Wenn das Werk keinen andern Zweck, als diesen hat, so ist es eigentlich nicht mehr eine Schöpfbuhne, denn es spaltet nur die herabfliefsende Wassermasse, und indem es sich in der Richtung derselben hinzieht und sich nach und nach verbreitet, so lenkt es zugleich den Strom von der dahinter liegenden Erdzunge ab und weist ihn in die Betten der beiden Arme. Auf diese Art bilden sich zu beiden Seiten unterhalb des Werkes concave Ufer, deren Deckung mit dem Werke selbst in Verbindung stehn mufs. Es kann hierbei geschehn, dafs man zur Darstellung regelmäfsiger Uferlinien das Werk vor der Spitze der Insel noch weit herausführen und es abwärts mit Einbauen in Verbindung setzen mufs, welche vor das Ufer der Insel vortreten. Es läfst sich in diesem Falle auch eine gewisse Vertheilung der Wassermenge auf beide Stromarme herbeiführen, soweit letztere zur Aufnahme derselben fähig sind, es mufs indessen immer Regel bleiben, das Separationswerk, welches alsdann wieder Schöpfbuhne wird, nicht stark gegen die Richtung des Stromes zu neigen, damit keine grofse Vertiefung auf derjenigen Seite entsteht, wo man den Wasserzudrang vermeiden will.

In ähnlicher Weise wie man für die regelmäfsige Trennung des Stromes in zwei Arme sorgt, verfährt man auch bei der Wiedervereinigung derselben, und das Gleiche findet auch statt, wenn Seitenzuflüsse in den Strom treten. Es ist schon früher (§. 9.) davon die Rede gewesen, dafs die zu verschiedenen Zeiten eintre-

tenden Anschwellungen zweier Flüsse in der Nähe ihrer Vereinigung das Material des einen in dem Bette des andern abzulagern pflegen, und sonach in beiden Verflachungen entstehn. Derselbe Fall ereignet sich aber auch gewöhnlich unterhalb der Inseln in einem Strome, wo zwar die Anschwellungen beider Arme gleichzeitig vorkommen, aber die Strömungen keineswegs immer gleichmäfsig sind, sondern sich gewöhnlich bei verschiednen Wasserständen in beiden Armen auch verschiedenartig herausstellen, und sonach wieder abwechselnd die Verflachung des einen und des andern veranlassen. Es läfst sich dieser Uebelstand nie ganz vermeiden, aber wohl kann man den Effect der Strömung und dadurch die Ausbildung einer tiefen Rinne in jedem Arme oder in jedem der beiden zusammentretenden Flüsse dadurch befördern, dafs man künstliche Krümmungen darin bildet, die von beiden Seiten aus sich nach dem Separationswerke oder der Trennungsbuhne hinziehn und sich am Kopfe derselben vereinigen. Auf solche Weise werden die beiden tiefen Stromschläuche zusammengeführt, und da sie auch nahe in gleicher Richtung sich vereinigen, so setzt sich die Tiefe regelmäfsig nach unten fort. Endlich erreicht man dabei noch den wesentlichen Vortheil, dafs zur Zeit einer starken Anschwellung in dem einen Arme das Wasser über die Krone des Separationswerkes, wie über eine declinante Buhne überstürzt, und dadurch in dem andern Stromschlauche eine nachtheilige Ablagerung des Materials verhindert.

Fig. 87, Taf. XI. zeigt diese Art der Vereinigung zweier Ströme, Woltman hat sie zuerst empfohlen *), und sie ist seitdem vielfach und mit günstigem Erfolg angewendet worden. Die Mündung der Havel in die Elbe ist z. B. hierdurch vor Versandungen ziemlich sicher gestellt. Von besonderm Nutzen ist diese Anordnung aber noch bei der Vereinigung kleiner Gebirgsflüsse mit schiffbaren Strömen. Erstere führen häufig grofse Massen von schwerem Material den letztern zu, und indem das schwächere Gefälle in diesen nicht genügt, um dasselbe weiter stromabwärts zu treiben, so pflegt es in unregelmäfsigen Bänken dicht vor der Mündung liegen zu bleiben, und tritt häufig fast über die ganze Breite des Strombettes, so dafs sich höchst nachtheilige Untiefen und zugleich Stromschnellen da-

*) Beiträge zur Schiffbarmachung der Flüsse. Seite 122.

selbst bilden. Die Ablagerung des Materials kann freilich durch die Regulirung der Mündung nicht vollständig verhindert werden, aber sie erfolgt doch regelmäfsiger und verflacht nicht sowohl den tiefen Stromschlauch, als sie vielmehr eine allmählige und ziemlich gleichmäfsige Erhöhung des ganzen Bettes veranlafst.

Ein Verfahren, welches mit dem angegebenen einigermafsen übereinstimmt, tritt auch in dem Falle ein, wenn man ein Seitenbassin neben dem Strome, welches stehendes Wasser enthält, wie etwa einen Flufshafen oder einen Canal, vor Versandungen möglichst sichern will. Die Niederschläge lassen sich in einem solchen Bassin nie vermeiden, da das eintretende Wasser darin vollständig zur Ruhe kommt, und sonach alle in ihm schwebenden Stoffe zu Boden sinken, dagegen ist es schon vortheilhaft, wenn man die durch den Strom über dem Bette forttreibenden Stoffe nicht in den Hafen oder den Canal hineindringen läfst. Der Kopf, welcher oberhalb der Mündung liegt, wirkt wie eine Buhne, hat er eine stromabwärts gekehrte Richtung, so bildet sich durch das überstürzende Wasser, wie bei einer declinanten Buhne, hinter ihm eine Rinne, und die Mündung behält weit vollständiger ihre Tiefe. Hiernach ist es Regel, alle solche Mündungen stromabwärts zu kehren, wodurch auch noch für die Schiffahrt der wesentliche Vortheil erreicht wird, dafs das Ein- und Ausfahren der Schiffe weniger schwierig ist, indem der Strom sie nicht dreht, noch auch auf die untere Einfassung der Mündung wirft.

Ende des ersten Bandes vom zweiten Theil.

A. W. Schade's Buchdruckerei (L. Schade) in Berlin, Stallschreiberstr. 47.

Handbuch

der

Wasserbaukunst

von

G. Hagen.

Dritte neu bearbeitete Auflage.

Zweiter Theil:

Die Ströme.

Zweiter Band mit 16 Kupfertafeln.

Berlin 1873.

Verlag von Ernst & Korn.

(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Uferschälungen, Strombauten

und

Schiffahrts-Canäle.

Von

G. Hagen.

Dritte neu bearbeitete Auflage.

Zweiter Band.

Mit einem Atlas von 16 Kupfertafeln in Folio.

Berlin 1873.

Verlag von Ernst & Korn.

(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Inhalts-Verzeichnifs

des zweiten Bandes.

Seite

Abschnitt VI.

Anordnung der Strombauten 1

§. 26. Der regulirte Strom 3
§. 27. Profilweite 11
§. 28. Uferlinien 25
§. 29. Buhnen-Systeme 36
§. 30. Starke Gefälle 54

Abschnitt VII.

Ausführung der Strombauten 61

§. 31. Stein-Constructionen 63
§. 32. Senkfaschinen 78
§. 33. Packwerksbau im Allgemeinen 92
§. 34. Material des Packwerksbaues 96
§. 35. Faschinen-Lagen 113
§. 36. Ausführung der Packwerke 126
§. 37. Sicherung der Packwerke 154
§. 38. Schlickfänge 181
§. 39. Pflanzungen 192
§. 40. Strom-Durchstiche 202
§. 41. Coupirungen 226

Seite

Abschnitt VIII.

Stau-Anlagen 245

§. 42. Anordnung der Stau-Anlagen 247
§. 43. Massive Wehre 254
§. 44. Halbmassive Wehre 265
§. 45. Hölzerne Wehre 268
§. 46. Freiarchen 280
§. 47. Bewegliche Wehre 298
§. 48. Nadelwehre 315

Abschnitt IX.

Vertiefung des Fahrwassers 333

§. 49. Baggerung 335
§. 50. Auflockern des Grundes 340
§. 51. Reinigen des Fahrwassers 368
§. 52. Heben der Steine 385

Sechster Abschnitt.

Anordnung der Strombauten.

§. 26.

Der regulirte Strom.

Welche Zwecke man durch Regulirung der Ströme erreichen will, ist bereits früher (§. 20.) mitgetheilt. Zunächst ist der Vorfluth erwähnt worden. Bei hohen, wie bei niedrigen Wasserständen soll die zufliefsende Wassermasse ohne Beeinträchtigung der Culturen abgeführt werden. Der tiefere Schlauch oder das Strombett soll so weit und tief geöffnet sein, dafs die daneben liegenden Fluren nicht versumpfen, und in gleicher Weise soll das Thal, welches zur Zeit des Hochwassers durch dieses inundirt wird, überall hinreichend weit und so niedrig sein, dafs sowol beim offenen Strom, wie bei Eisversetzungen und beim Eisgange der Abfluſs nirgend gehemmt ist, also das Wasser nicht höher ansteigt, als dieses die abzuführende Wassermenge und das vorhandene allgemeine Gefälle bedingt. Entgegengesetzten Falles würden Ueberschwemmungen eintreten, welche die anliegenden Ortschaften bedrohen, die Verbindungen unterbrechen und die Saaten in den Aeckern schädigen und zerstören. Hierbei kommen vorzugsweise die Eindeichungen in Betracht, von denen jedoch erst später die Rede sein wird. Vorliegend handelt es sich allein um das eigentliche Strombett, wenn auch auf dieses das hohe und selbst das höchste Wasser vielfach den wesentlichsten Einfluſs ausübt.

Demnächst muſs man bei Ausführung von Stromregulirungen die Ufer gegen Abbruch schützen. Es wurde bereits oben (§. 7.) erwähnt, dafs der sich selbst überlafsne Strom in aufgeschwemmtem Boden keineswegs seinen Lauf dauernd verfolgt, dafs er vielmehr selbst in geraden Strecken durch zufällige Hindernisse leicht abgelenkt und seitwärts gewiesen wird. Er greift alsdann

das ihm entgegenstehende Ufer an, und der Angriff auf dasselbe nimmt immer mehr zu, je weiter sich die entstandene Bucht ausbildet, während vor dem gegenüber liegenden Ufer Sand und Erde sich ablagern, also dieses Ufer weiter vortritt, und dadurch die Ablenkung noch vergröfsert und neue Abbrüche veranlafst werden. In dieser Weise versinken oft ausgedehnte cultivirte Flächen oder Wiesen nach und nach in den Strom, und solchen Verlusten entgegenzutreten ist Aufgabe der Stromregulirung. Dazu kommt noch, dafs durch diese Veränderungen des Stromlaufes auch die in der Nähe bereits ausgeführten Correctionen leicht nutzlos und zuweilen der Bildung eines regelmäfsigen Laufes sogar hinderlich werden.

In den meisten Fällen ist das Schiffahrts-Interesse vorzugsweise Veranlassung zu Strom-Correctionen. Es kommt dabei zunächst die Tiefe der Fahrrinne oder des Thalwegs in Betracht, und diese mufs solche Gröfse erhalten, wie es mit Rücksicht auf die zur Zeit des niedrigen Wassers abgeführte Wassermenge, und auf das Gefälle überhaupt möglich ist. Sie läfst sich freilich noch über dieses Maafs durch künstliche Hebung des Wasserspiegels vergröfsern, doch gehören solche Anlagen nicht mehr zum eigentlichen Strombau, woher von denselben später die Rede sein wird. Ferner sind scharfe Krümmungen zu beseitigen, welche den Durchgang der Schiffe gefährlich, oder auch wohl unmöglich machen, und endlich müssen, so weit dieses thunlich ist, auch die Stromschnellen, an denen ein besonders starkes Gefälle stattfindet, dadurch aufgehoben werden, dafs man dieses Gefälle auf eine längere Strecke vertheilt, oder es relativ vermindert.

Alle Anlagen, die man zu diesen verschiedenen Zwecken ausführt, sind nicht nur dazu bestimmt, die beabsichtigten Wirkungen herbeizuführen, sondern sie sollen diese auch dauernd sichern. Manche Theile der Bauwerke entziehn sich bald dem starken Angriff des Stroms, und man darf daher bei ihnen weniger feste Constructionen wählen. Dieses ist z. B. bei allen Bauten der Fall, die in wenigen Jahren eine starke Verlandung veranlassen, und dadurch vollständig geschützt werden. Andre dagegen, namentlich die Köpfe der Buhnen, wie auch die Uferdeckwerke, bleiben dauernd dem Angriffe ausgesetzt, und bei diesen verstärkt sich derselbe zuweilen im Laufe der Zeit noch bedeutend, indem die Tiefe davor gröfser wird, als sie ursprünglich war. Eine wesentliche Bedingung ist es also,

dafs man hinreichend solide Constructionen wählt. In früherer Zeit wurde ziemlich allgemein hierauf nicht gehörig geachtet. Man baute Buhnen, wie Uferdeckwerke nur aus Faschinen und Erde, und glaubte dieselben hinreichend zu sichern, wenn man darauf eine lebendige Weidenpflanzung unterhielt, die so oft es nöthig war, durch Nachpflanzung vervollständigt wurde. Abgesehn von den vielfachen Beschädigungen und vollständigen Zerstörungen, wodurch kostbare Reparaturen in kurzen Zwischenräumen erforderlich wurden, ereignete sich dabei noch ein andrer Uebelstand, der vielfach nicht früher bemerkt wurde, als bis die Wirkungen desselben in der Veränderung des Strombettes sich zu erkennen gaben. Manche Stromstrecken waren durch Beschränkung des Bettes hinreichend vertieft, und obwohl man die Werke, so oft Beschädigungen sich daran zeigten, wieder in Stand setzte, so verminderte sich dennoch nach und nach die Tiefe des Fahrwassers, und wenn endlich neue Correctionen deshalb erforderlich wurden, so ergab die Vergleichung mit den älteren Charten, dafs die Buhnen nicht mehr so weit in den Strom hineinreichten, als dieses früher der Fall gewesen war. Die Strömung, wie das Eis, und häufig auch die Schiffe hatten die Köpfe der Buhnen, die gleichfalls nur aus dem wenig festen Material bestanden, langsam abgeschliffen. Bei Anwendung von Steinen tritt eine solche Zerstörung der Werke nur in geringerem Maafse ein, doch fehlt sie keineswegs ganz, indem die Steine oft unbemerkt in die Tiefe herabrollen und hier verschwinden. Eine fortwährende Beaufsichtigung, und immer wiederkehrende Reparaturen, namentlich nach schweren Eisgängen, sind daher auch bei soliden Constructionsarten unvermeidlich, bei diesen mufs man aber stets bemüht sein, die ursprünglichen Dimensionen wieder herzustellen.

Wenn man eine Stromstrecke in solcher Weise corrigirt hat, und die Bauwerke gehörig unterhält, so darf man zwar nicht besorgen, dafs der Zustand des Stroms daselbst sich verschlechtert, doch geschieht es häufig, dafs andre Strecken, die ursprünglich keiner Verbesserung bedurften, sich in nachtheiliger Weise umgestalten, und gleichfalls verbaut werden müssen. Es leidet keinen Zweifel, dafs die ausgeführten Stromregulirungen in manchen Fällen hierzu Veranlassung gaben, indem entweder durch die vertiefte Fahrrinne der Abfluſs erleichtert und dadurch in der oberhalb belegenen

Strecke der Wasserspiegel gesenkt wird, oder aber der Sand, der bei der Vertiefung forttreibt, weiter stromabwärts niederschlägt, und hier eine Untiefe bildet, die früher nicht vorhanden war. In dieser Weise geschieht es häufig, dafs man Strom-Correctionen weiter abwärts auszudehnen gezwungen ist.

Es giebt indessen nicht selten noch eine andre Veranlassung zur Wieder-Aufnahme der bereits abgeschlossenen Correctionen. Diese beschränkten sich nämlich, soweit sie im Interesse der Schifffahrt vorgenommen wurden, ausschliefslich auf solche Strecken, wo wirkliche Hindernisse bestanden, also namentlich die erforderliche Tiefe nicht vorhanden war. Sobald man aber die flachsten Stellen beseitigt, und auf denselben den Wasserstand etwas vergröfsert hat, so werden auch die Ladungen der Schiffe vergröfsert, und andre Untiefen, welche bisher von den Schiffen nie berührt wurden, stellen sich nunmehr als die hinderlichsten heraus und die Beseitigung derselben wird alsdann dringend gefordert. Dazu kommt noch, dafs der Schiffer es oft vortheilhafter findet, eine volle Ladung anzunehmen und den entsprechenden höheren Wasserstand abzuwarten, als nach dem vorhandenen Wasserstande die Ladung zu bemessen und die Fahrt möglichst schnell zu beendigen.

Wenn in solchem Falle die Klagen über schlechtes Fahrwasser auch ganz unbegründet sind, so bleiben sie dennoch nie aus, und überhaupt giebt es für die Ansprüche, die man an die Schiffbarkeit der Ströme und Flüsse erhebt, keine Grenze, während doch die natürliche Beschaffenheit derselben die Ausdehnung über ein gewisses Maafs hinaus unbedingt verbietet. In dieser Beziehung stellt sich ein sehr wesentlicher Unterschied zwischen Eisenbahnen und Wasserstrafsen heraus. Wenn über den Betrieb auf den erstern auch zuweilen geklagt wird, so entziehn ihre Mängel sich meist dem Urtheil des Publikums, und man hört nie, dafs sie in unpassenden Linien geführt oder schlecht gebaut sind, wie dieses bei Flufs-Correctionen immer geschieht. Der Grund davon ist indessen keineswegs in einer gröfsern Vollkommenheit des Eisenbahn-Baues, sondern allein darin zu suchen, dafs die Gesellschaft, oder die Behörde, welche eine Eisenbahn baut, zugleich den Betrieb darauf, und zwar ohne alle Concurrenz, verwaltet, also alleiniger Fuhrherr ist, der Personen wie Güter auf der Bahn befördert. Vielfach werden Mängel der ersten Anlage erkannt, die man auch

wohl, soweit es geschehn kann, zu beseitigen bemüht ist, doch giebt es keinen Grund, dieselben öffentlich zur Sprache zu bringen. Wären Eisenbahnen öffentliche Straſsen, die Jeder mit seinen Maschinen und Wagen befahren dürfte, so würden ohne Zweifel die Beschwerden über ihre schlechte Beschaffenheit eben so allgemein sein, wie sie es in Betreff der Ströme sind.

Die bereits erwähnte Bedingung, daſs der corrigirte Strom sich dauernd in diesem Zustande erhalten muſs, gilt namentlich auch für das niedrige Wasser. Die Schiffahrt wird wesentlich beeinträchtigt, sobald man hiervon absieht und sonach in dem eigentlichen Fahrwasser neue Untiefen entstehen, oder was dasselbe besagt, die vorhandenen Sand- oder Kiesablagerungen ihre Lage verändern und sich stromabwärts bewegen. Zur Seite solcher Untiefen liegt gemeinhin ein tiefes, wenn auch nur schmales Fahrwasser, die flachen Stellen im letztern befinden sich aber in den Uebergängen von einem Ufer zum andern, und diese sind nicht in gehöriger Tiefe zu erhalten, sobald sie mit jenen hohen Feldern fortwährend ihre Stelle verändern. Man könnte hiernach vermuthen, daſs das Bette für alle Wasserstände durch ausgebaute Ufer eingeschlossen werden müſste. Dieses ist aber nicht der Fall, da die Sicherungs-Maaſsregeln nur dem Angriffe zu entsprechen brauchen. Ein groſser Theil der Ufer, also namentlich die convexen Ufer, sind keinem Angriff ausgesetzt, bedürfen also auch keines Schutzes. Hierzu kommt noch der günstige Umstand, daſs diejenigen Flächen, welche man dem eigentlichen Strombett durch Beschränkung abgewinnt, keineswegs nach wie vor nutzlos sind, vielmehr eignen sie sich sehr wohl zur Cultur von Weidenstrauch und pflegen alsdann reichen Ertrag zu geben, bis sie endlich bei weiterer Erhöhung des Bodens sich in Wiesen verwandeln, die von den periodisch eintretenden Ueberfluthungen nicht leiden, vielmehr durch diese an Ertragsfähigkeit gewinnen.

Bei den am Ober-Rhein zwischen Baden und Baiern ausgeführten Durchstichen, so wie auch weiter aufwärts bis zur Grenze der Schweiz, wo freilich die Schiffahrt von wenig Bedeutung ist, hat man von solcher Regulirung des eigentlichen Strombettes ganz abgesehn, und sich nur darauf beschränkt, dem Hochwasser ein regelmäſsiges Bette anzuweisen. Die Verhältnisse waren hier freilich eigenthümlich. Vorzugsweise kam es darauf an, den häufig

eintretenden Inundationen vorzubeugen, wodurch das ganze Rheinthal, dessen Breite nahe eine deutsche Meile mifst, einer geregelten Cultur entzogen wurde. Durch die sehr erhebliche Verkürzung des Stromlaufes von 31 auf 18 Wegestunden senkte sich der Wasserspiegel sehr stark. Bei Maxau beträgt die Senkung zur Zeit des Mittelwassers 7,2 und zur Zeit des Hochwassers 6,3 Fufs Rheinländisch. Es darf kaum erwähnt werden, dafs das Flufsbett beinahe um eben so viel sich tiefer in den Boden eingeschnitten hat. Dasselbe mufs aber nunmehr das ganze Hochwasser abführen, da dieses nicht die Thalsohle erreicht. Die Breite des neuen Bettes wurde schon beim Beginn der Arbeiten 1817 zu 765 Fufs angenommen, und man hat dieses Maafs auch in den spätern Ausführungen beibehalten. Dieses Bett, dessen beiderseitige Ufer durch Senkfaschinen und Steinschüttungen, soweit es nöthig schien, gesichert sind, ist für das mittlere und besonders für das kleine Wasser viel zu breit. Es wird von dem letztern nur zum Theil gefüllt, der tiefe Schlauch serpentinirt von einer Seite zur andern, und die Sand- und Kiesmassen lagern sich neben demselben abwechselnd vor dem rechten und dem linken Ufer ab. Nach der Mittheilung von Grebenau *) mifst der Abstand je zweier hinter einander belegenen Kiesbänke 200 bis 350 Ruthen, und zwar ist derselbe in den obern Strecken geringer, als in den untern. Diese Bänke bleiben keineswegs unverändert an ihrer Stelle, sondern sie bewegen sich sämmtlich stromabwärts, und zwar rückt durchschnittlich nach $3\frac{2}{3}$ Jahren jede derselben an die Stelle der zunächst unterhalb belegenen. Wenn also in einer gewissen Zeit eine Uferstrecke durch die davor liegende Kiesbank gegen den Angriff des Stroms geschützt war, so wird nach $3\frac{2}{3}$ Jahren die nächst stromaufwärts belegene Bank vor dem entgegengesetzten Ufer liegen, und das erste Ufer ist alsdann einem starken Strom-Angriff ausgesetzt.

Man mufs daher, um die nach und nach an allen Stellen eintretenden Uferabbrüche zu verhindern, die beiderseitigen Ufer in ihrer ganzen Ausdehnung so vollständig decken, dafs sie bei den zeitweisen Strom-Angriffen und bei den alsdann davor eintretenden Vertiefungen nicht nachstürzen. Die Schiffahrt leidet durch diese

---

*) Der Rhein vor und nach seiner Regulirung von der Französisch-Bairischen Grenze bis Germersheim. 1869.

dauernden Veränderungen ungemein, indem das Fahrwasser zwar zur Seite der Kiesbänke, die jedesmal eine Krümmung veranlassen, hinreichende Tiefe hat, letztere jedoch fehlt, wo der Thalweg aus einer Krümmung in die andre übersetzt. Wenn man aber in andern Fällen durch Einschränkung solche Uebergänge regelt und vertieft, so ist dieses hier wegen der fortwährenden Veränderungen des Bettes unthunlich. Gewifs würde man anderweitig bei solchem Zustande des Stromes denselben keineswegs regulirt nennen, vielmehr die Verbesserung des Thalweges in dem für das Hochwasser bestimmten breiten Bette für nothwendig erachten, um die darin befindlichen Kiesbänke festzulegen. Die zu diesem Zweck auszuführenden Strombauten müfsten aber so niedrig bleiben, dafs sie in der ganzen Breite des Fluthbettes vom Hochwasser überströmt werden.

Vielleicht stand einer solchen Correction das Bedenken entgegen, dafs man den von oben herabtreibenden Sand und Kies nicht aufhalten, vielmehr demselben Gelegenheit bieten wollte, durch die ganze Stromstrecke hindurch zu treiben, und erst weiter abwärts, in fremdem Gebiet, sich dauernd abzulagern. Diese Auffassung wäre indessen durchaus unbegründet. Von der Sand- und Kiesmasse, welche der Strom mit sich führt, wird zwar ein gewisser Theil von den Strom-Regulirungs-Werken aufgefangen, dieses geschieht jedoch nur so lange, bis dieselben zwischen sich niedrige Ufer gebildet haben. Der gröfste Theil der Masse treibt in dem tiefen Bette fort, wie sich schon aus den Geschwindigkeits-Messungen in der Nähe des Grundes ergiebt. Bei stark strömendem Wasser, wie am obern Rhein, kann man sogar das Rollen der Kiesel auf dem Grunde deutlich hören. Da es im vorliegenden Falle aber darauf ankommt, selbst die höchsten Fluthen noch in dem, in die Thalsohle eingeschnittenen Flufsbett zu fassen, so würde man dafür sorgen müssen, dafs jene Regulirungswerke nicht zu hoch werden, ihre Wirksamkeit sich vielmehr allein auf das niedrige Wasser beschränken müfste. Eben so dürften auch die Verlandungen dazwischen sich nicht zu sehr erheben. Die letzte Besorgnifs ist indessen leicht zu beseitigen, da bei Anschwellungen eine starke Strömung darüber geht, die gerade an solchen Stellen sich am meisten verstärkt, wo das Profil besonders beschränkt ist.

Nachdem vorstehend auf die Zwecke einer angemefsnen und

nachhaltigen Stromregulirung näher hingewiesen ist, darf kaum noch erwähnt werden, dafs bedeutende Ausführungen dabei unvermeidlich, und sonach auch die Kosten dafür nicht unerheblich sind. Man wird aus diesem Grunde in allen Fällen bei Aufstellung der Projecte sorgfältig zu untersuchen haben, in welcher Weise den verschiedenen Bedürfnissen am einfachsten entsprochen werden kann. Zu diesem Zweck mufs man die bestehenden Stromverhältnisse jeder zu corrigirenden Strecke vollständig berücksichtigen. Zuweilen müssen dabei gewisse locale Umstände in Betracht gezogen werden, so dafs an Orten wo vielfach Schiffe anlegen, oder vielleicht Häfen vorhanden sind, der tiefe Stromschlauch sich vom Ufer nicht entfernen darf. Eben so fordern die Einmündungen bedeutender Seitenzuflüsse eine angemefsne Gestaltung des Bettes. Diese Fälle sind indessen nur Ausnahmen, und in der Regel kommt es allein darauf an, ein gehörig tiefes und nicht zu scharf gekrümmtes Fahrwasser darzustellen, und alsdann besteht die Aufgabe darin, den beim Beginn des Baues vorhandenen Stromlauf möglichst beizubehalten, und darin nur diejenigen Aenderungen vorzunehmen, die zur Regulirung desselben erforderlich sind.

Wegen der vielfachen und nie aufhörenden Veränderungen in den durch keine festen Ufer eingeschlofsnen, also noch nicht regulirten Stromstrecken, verbietet es sich Projecte aufzustellen, die erst nach langer Zeit ausgeführt werden können. Hiervon wird vielfach abgewichen. Es ist natürlich, dafs bevor man zu einer ausgedehnten Stromregulirung sich entschliefst, der nöthige Kostenaufwand ungefähr bekannt sein mufs. Dieser läfst sich indessen nur annähernd berechnen, und darf keineswegs auf specielle Projecte basirt werden, die nach wenigen Jahren doch nicht mehr inne zu halten sind. Als vor etwa 40 Jahren eine vollständige Regulirung der Weichsel in Aussicht genommen wurde, und zu diesem Zweck Stromcharten angefertigt waren, zeichnete man in letztere sogleich den beabsichtigten neuen Stromlauf nebst den zu seiner Darstellung erforderlichen Buhnen ein. Nach kurzer Zeit waren indessen diese Projecte ganz unpassend geworden. Viele Schifffahrtshindernisse waren von selbst verschwunden und dagegen andre an Stellen entstanden, die früher keiner Regulirung bedurften. Die erste Aufstellung der speciellen Projecte war also nutzlos gewesen. Selbst wenn Behufs der Anweisung der nöthigen Geldmittel im

Herbst eines Jahres die Projecte angefertigt werden, können diese oft im nächsten Sommer nicht mehr vollständig zur Ausführung gebracht werden, weil die inzwischen eingetretenen Veränderungen theils manche der veranschlagten Arbeiten entbehrlich, theils andre nöthig machen, die nicht vorgesehn werden konnten. In dieser Beziehung mufs dem ausführenden Baumeister stets einige Freiheit gelassen werden. Im Allgemeinen ist es aber Regel, jedesmal diejenigen Strom-Correctionen auszuführen, für welche das Bedürfnifs sich am meisten fühlbar macht.

§. 27.
Profilweite.

Es ist schon früher (§. 20.) nachgewiesen, in welcher Beziehung die Wassermenge, das relative Gefälle, die Breite und die mittlere Tiefe des Stroms zu einander stehn. Wenn man daher die beiden ersten Gröfsen kennt, so ist es leicht diejenige Breite oder Profilweite zu bestimmen, welche einer gegebenen mittlern Tiefe entspricht. Letztere ist jedesmal geringer, als die Tiefe der Fahrrinne, ein bestimmtes Verhältnifs besteht jedoch keineswegs zwischen beiden. Bei regulirten Stromstrecken, und zwar wenn dieselben nicht stark gekrümmt sind und keines der Ufer besonders flach von der Sohle aus ansteigt, darf man indessen annehmen, dafs die Tiefe der Fahrrinne zur mittlern Tiefe im Verhältnifs von 3 zu 2, oder bei besonders regelmäfsig ausgebildeten Querprofilen von 4 zu 3 steht. In Betreff der Profilweite mufs aber noch darauf aufmerksam gemacht werden, dafs diese stets im Wasserspiegel gemessen wird.

Hiernach ist nicht nur der gegenseitige Abstand der Ufer oder der Streichlinien (welche durch die Köpfe der Buhnen gezogen sind) für das kleine Wasser zu bestimmen, sondern in gleicher Weise ist auch die Entfernung der einander gegenüber liegenden Deiche, oder wenn solche nur auf einer Seite vorhanden sind, deren Entfernung von den natürlichen Hochufern zu ermitteln, damit auch bei den stärksten Anschwellungen das Wasser freien Abfluls findet.

Beim Strombau kommen indessen keineswegs allein die beiden

äufsersten Grenzen, nämlich die höchsten Fluthen und die niedrigsten Wasserstände in Betracht, und wenn von denjenigen Anschwellungen, welche über die Thalsohle treten, auch hier abgesehn werden kann, so ist es im Interesse der Schiffahrt doch oft nothwendig, dafür zu sorgen, dafs so lange das Wasser im eigentlichen Bette bleibt, die Profilweite mit der abzuführenden Wassermenge sich vermindert, also bei jedem dieser Wasserstände, bis zum niedrigsten, die möglichst gröfste Tiefe sich darstellt. Dieser Forderung kann genügt werden, wenn man den Einschränkungs-Werken, also den Uferdeckungen und vorzugsweise den Buhnen die angemessenen stromseitigen Böschungen giebt.

Um in dieser Beziehung die richtigen Maafse darzustellen, mufs man sowol die Wassermengen, wie die relativen Gefälle kennen. Ueber Beide ist noch Verschiedenes zu bemerken, und zunächst mag von den letztern hier die Rede sein.

Das relative Gefälle ist bei der Regulirung eines Stroms von besonderer Wichtigkeit, und es genügt keineswegs, dasjenige Gefälle zu ermitteln, welches in der zu corrigirenden Stelle liegt, man mufs vielmehr auch das allgemeine Gefälle des ganzen Stroms auf eine lange Strecke kennen, indem sich nur hiernach die Zulässigkeit der Vertheilung desselben beurtheilen läfst. Gemeinhin ist in den unregelmäfsigen und seichten Strecken, die vorzugsweise einer Regulirung bedürfen, das Gefälle sehr grofs. Durch die gewöhnliche Regulirung wird dasselbe gemäfsigt, und der Erfolg davon ist, dafs der Wasserspiegel in der zunächst oberhalb belegenen Stromstrecke sich senkt, oder das Gefälle weiter stromaufwärts sich vergröfsert (§. 10.). Diese Aenderung der Verhältnisse ist zuweilen unstatthaft, indem entweder das Gefälle in der obern Strecke schon an sich sehr stark war, oder indem Felsen im Strombette liegen, welche bei der Senkung des Wasserspiegels der Schiffahrt hinderlich werden. Man mufs alsdann dafür sorgen, dafs an der zu corrigirenden Stelle das Gefälle concentrirt bleibt.

Gewöhnlich werden Stromregulirungen im Schiffahrts-Interesse vorgenommen, oder wenn auch andre Rücksichten die nächste Veranlassung dazu geben, so bleibt die Erleichterung der Schiffahrt doch meist ein wichtiger Nebenzweck. Das starke Gefälle verursacht eine heftige Strömung, und diese ist theils unmit-

telbar dem Betrieb der Schiffahrt hinderlich, theils aber vermindert sie auch den Querschnitt des Stroms und sonach die Tiefe desselben. Das sicherste Verfahren, das man in solchem Falle wählen kann, bezieht sich darauf, das Gefälle an einzelnen Stellen stark zu concentriren, oder künstlich das Wasser aufzustauen und durch Schiffsschleusen die Verbindung zwischen je zwei auf solche Weise getrennten Stromstrecken darzustellen. Diese Anordnung ist indessen sehr kostbar und bezieht sich auch nicht auf die eigentliche Stromregulirung. Es fragt sich daher, bis zu welcher Gröfse des Gefälles ein Strom noch durch bloſse Regulirung schiffbar gemacht werden kann. Eine sichere Beantwortung dieser Frage ist freilich nicht mõglich, indem die Art des Schiffahrtsbetriebes, sowie auch manche localen Verhältnisse und besonders der Wasserreichthum des Stroms dabei in Betracht kommen, nichts desto weniger werden einige Angaben in dieser Beziehung wichtig sein. Es kommt hierbei aber augenscheinlich weniger auf die partiellen, als vielmehr auf die allgemeinen Gefälle an, indem man bei der Regulirung die erstern zu vertheilen pflegt, und dieselben sich fast jedesmal verändern, während die letztern keine wesentliche Aenderung erfahren können, indem die Höhen des Anfangs- und des Endpunktes gegeben sind. Bei einem relativen Gefälle von 1 : 3000 oder einem geringern kann man gemeinhin ohne Nachtheil, soweit es erforderlich ist, das an einzelnen Stellen concentrirte Gefälle vertheilen. Bei 1 : 2000 pflegt dieses dagegen nicht mehr möglich zu sein, man muſs alsdann vielmehr die vorhandenen Untiefen als Stromschnellen bestehn lassen, weil sonst die Regulirung über den gröſsten Theil der Länge des Stroms ausgedehnt werden müſste. Der Betrieb der Schiffahrt findet indessen in diesem Falle und selbst bei einem Gefälle von 1 : 1800 noch keine wesentlichen Hindernisse. Das letzte Verhältniſs bezeichnet das allgemeine Gefälle des schiffbaren Theiles der Ruhr, nach Abzug desjenigen, welches durch Schiffsschleusen aufgehoben wird. Der untere Theil der Ruhr von Mühlheim abwärts bis zum Rhein, worin keine Schleuse vorkommt, hat ein viel stärkeres Gefälle, das beim niedrigsten Wasserstande des Rheins sogar 1 : 1400 beträgt. In neuster Zeit hat man durch sehr starke Profil-Beschränkung und namentlich durch Erhöhung der bereits früher erbauten Buhnen, den Wasserstand so gehoben,

dafs die beladenen Kohlennachen auch alsdann noch herabkommen können, während das Aufbringen der leeren Schiffe durch verstärkten Vorspann ermöglicht wird.

Das Gefälle der Saar beträgt von Saarbrücken abwärts durchschnittlich 1 : 1835. Dasselbe ist aber sehr ungleichmäfsig vertheilt. Von Saarburg bis zur Mosel beträgt es sogar 1 : 1339, und doch ist hier keine Schiffsschleuse erbaut, sondern die Schiffe fahren im freien Strom auf- und abwärts. Die Schiffahrt hat hier schon seit langer Zeit bestanden, doch war sie früher in den Sommermonaten unterbrochen. Nach der seit 1840 begonnenen Regulirung ist dieses weniger der Fall. Auf einzelnen von den am meisten nachtheiligen Untiefen hat sich durch die starke Einschränkung des Bettes ein Wasserstand gebildet, welcher, wenn auch nicht für volle, doch wenigstens für halbe Ladungen genügt, und überdies zeigt es sich, dafs die starke Strömung, die daselbst stattfindet, weder das Herauffahren besonders beschwerlich, noch auch das Herabfahren gefährlich macht.

Von solchen starken Einschränkungen des Bettes, wie sie stellenweise an der Saar vorgenommen werden mufsten, um das grofse Gefälle an gewissen Stellen zu erhalten, soll später die Rede sein. Zunächst handelt es sich um die Regulirung derjenigen Ströme, die im Allgemeinen kein starkes Gefälle haben, und wo ein solches, wenn es hin und wieder vorkommt, nicht daselbst erhalten werden mufs, sondern auf gröfsere Strecken vertheilt werden darf.

In diesem Fall kommt es fast immer darauf an, dem Strome seine überflüssige Breite zu nehmen, und das Wasser so zusammen zu halten, dafs es hinreichende Kraft besitzt, um die erforderliche Tiefe darzustellen. Es entsteht alsdann die Frage, welche Breite des Bettes zu diesem Zweck erforderlich ist, und man pflegt hierauf zu antworten, dafs man die Normalbreite wählen mufs (§. 20.). Bei Bestimmung derselben geht man häufig von der Vorstellung aus, dafs sie einen gewissen geregelten Beharrungszustand des Strombettes bedingt. Wenn der Strom ein so breites Bette hat, dafs die Tiefe darin sich wegen der starken Vertheilung des Wassers nicht gehörig erhält, so bilden sich Sandbänke, oder vor den Ufern zeigen sich Verlandungen. Im entgegengesetzten Fall, wenn nämlich die Profilweite zu enge ist, so erfolgen Uferabbrüche. Zwischen beiden liegt, wie man annimmt, eine gewisse Breite, welche für die

Wassermenge des Stroms angemessen ist, um das Absetzen des Materials oder eine Verflachung zu verhindern, und welche zugleich keinen Angriff der Ufer bedingt. Dieses nennt man die Normalbreite, und man mifst dieselbe an den Stellen des Stroms, die weder Abbruch noch Verlandung zeigen. Es ist natürlich, dafs eine solche Bestimmung nur soweit gelten kann, als die Verhältnisse ungefähr dieselben sind, die Normalbreite ändert sich daher, wie man auch gemeinhin hierauf aufmerksam zu machen pflegt, bei jedem neuen bedeutenden Seitenzufluſs, oder bei jeder Spaltung des Stroms. Es kommen indessen noch vielfache andre Umstände in Betracht, die man bei dieser Untersuchung nicht unberücksichtigt lassen darf. Dahin gehört namentlich das Gefälle, die Krümmung und die Höhenlage der Ufer, denn wie bereits erwähnt, giebt der Lauf des Hochwassers gemeinhin Veranlassung zur Ablagerung der Sand- und Kiesmassen im Strombette. Bei der Regulirung ist es allerdings Aufgabe, die Verhältnisse so günstig darzustellen, wie man sie in solchen normalen Profilen wahrnimmt, und die Anordnung der Bauten würde aufserordentlich erleichtert werden, wenn man für jeden vorkommenden Fall schon ein Muster dafür auffinden könnte. Dieses ist indessen fast niemals möglich, und sonach kann die Ermittlung der sogenannten Normalbreite auch wenig nützen. In denjenigen Stromstrecken, welche nicht durch Seitenzuflüsse oder Uferbrüche verflacht werden, worin auch keine starken Krümmungen vorkommen, und welche endlich in der Richtung der Strömung des Hochwassers liegen, erhält sich gemeinhin eine gröfsere Tiefe bei reichlicher Breite, und die Ufer sind keinem Angriff ausgesetzt. Diese Stellen sind es, welche sich durch schwaches Gefälle und schwache Strömung auszeichnen, und welche der Schiffer Woog oder Pfuhl nennt. Man darf aber nicht die an ihnen gesammelten Erfahrungen auf alle andern Strecken übertragen, wo die localen Verhältnisse ganz verschieden sind. Man bemerkt auch gewöhnlich, dafs die auf solche Art ermittelte Normalbreite zu grofs ist, und sehr bedeutend verringert werden mufs.

Wo es nothwendig ist, ein starkes Gefälle zu erhalten, wie namentlich vor den Mündungen von Seitenzuflüssen, welche schweres Geschiebe dem Strom zuführen, und ebenso auch an solchen Stellen, welche vom Hochwasser mit Sand und Kies angefüllt werden, mufs man eine starke Einschränkung vornehmen. In Strom-

krümmen, besonders wenn dieselben recht scharf sind, ist die Einschränkung vielfach zu entbehren, weil auch ohne solche eine tiefe Rinne sich vor dem concaven Ufer auszubilden und zu erhalten pflegt. Die geraden Stromstrecken und ebenso auch die Uebergänge aus einer Krümmung in die entgegengesetzte, sind gewöhnlich am schwersten zu reguliren und vor Verflachungen zu sichern. Indem nämlich der Strom in ihnen nicht so bestimmt auf gewisse Stellen hingewiesen wird, und in diesen die gehörige Tiefe erhält, so pflegen sich in ihnen leicht nachtheilige Ablagerungen zu bilden. Wenn man einen Strom untersucht, der sich selbst überlassen ist, so bemerkt man gewöhnlich, dafs in den Stromkrümmen die Tiefe ansehnlich gröfser ist, als in den Uebergängen. Den Grund hiervon darf man nicht allein in der stärkern Strömung vor dem cancaven Ufer suchen, sondern die Verflachung an den geraden Stellen wird grofsentheils auch dadurch veranlafst, dafs das Hochwasser hier am wenigsten dem eigentlichen Strombett folgt, vielmehr quer herüber fliefst. Jedenfalls wird man die Versandungen an solchen Stellen verhindern, oder wenigstens am schnellsten beseitigen, wenn man starke Einschränkungen vornimmt, und hierauf beruht die Ansicht, dafs die Profilweite in den Krümmungen bedeutend gröfser anzunehmen sei, als in den zwischenliegenden Strecken.

Wie die Wassermenge eines Stroms annähernd aus der Ausdehnung des Quellengebietes hergeleitet werden kann, ist bereits im ersten Theile dieses Handbuches §. 6. und §. 26. erwähnt worden, während im zweiten Theile §. 10. für verschiedene Flüsse und Ströme die Verhältnifszahlen zwischen den Wassermengen der niedrigsten und höchsten Wasserstände angegeben sind. Bei der grossen Verschiedenheit dieser Resultate nach Maafsgabe der Bodenbeschaffenheit und der climatischen Einflüsse ist indessen auf diesem Wege die nöthige Sicherheit nicht zu erreichen, und man darf sich desselben daher nur bedienen, wenn directe Messungen nicht vorliegen und nicht schnell genug beschafft werden können.

Das Verfahren zur directen Messung der Wassermenge ist §. 18. beschrieben, dasselbe ist indessen sehr mühsam, insofern man in verschiedenen, über die ganze Breite des Querprofils gleichmäfsig vertheilten Perpendiculär-Linien wieder in verschiedenen Tiefen die Geschwindigkeiten messen mufs. Sehr einfach würde das Verfahren sein, wenn diejenige Stelle bekannt wäre, in welcher die

mittlere Geschwindigkeit sich darstellt, man brauchte alsdann diese nur mit dem Flächeninhalt des Querprofils zu multipliciren, um unmittelbar die Wassermenge zu finden. Dieses ist indessen bei der unregelmäfsigen Gestaltung der Flufsbetten unmöglich. Eine neuere Untersuchung der Geschwindigkeitsscale, oder derjenigen Curve, die sich in jeder einzelnen Perpendiculären bildet, wenn man die Tiefen als Abscissen und die daselbst gemefsnen Geschwindigkeiten als Ordinaten aufträgt, führte mich jedoch zu dem wichtigen Resultat, dafs die mittlere Geschwindigkeit jeder Perpendiculären sich in einer leicht zu bestimmenden Höhe über der Sohle darstellt, man also dieselbe durch eine einfache Messung finden kann.

Es ist bereits früher (§. 17.) erwähnt, dafs das allgemein als gültig anerkannte Gesetz über die Beziehung der mittlern Geschwindigkeit zur mittlern Tiefe und zum relativen Gefälle darauf hinweist, dafs diese Curve eine Parabel sei. Die Beobachtungen widersprechen indessen diesem Gesetze, so lange die Geschwindigkeiten unmittelbar als Ordinaten der Parabel angesehn werden. Die in neuster Zeit ausgeführte Untersuchung desselben Gegenstandes ergab dagegen Resultate, die in gewisser Beziehung sehr befriedigend an alle mir vorliegenden Messungen sich anschlossen und sogar grofsentheils eine überraschende Uebereinstimmung zeigten. *) Bei der wesentlichen Erleichterung die für die Bestimmung der mittlern Geschwindigkeit in den einzelnen Perpendiculären sich hieraus ergiebt, schien es geboten, die wichtigsten Punkte der Untersuchung nachträglich auch hier mitzutheilen.

Zunächst mufs ich auf die in §. 17. und am Schlufs des §. 15. bereits gemachten Mittheilungen verweisen, wonach die vielfach gemachte Erfahrung, dafs die Geschwindigkeit im Wasserspiegel eines Flusses geringer ist, als in einiger Tiefe darunter, nur durch die unpassende Beobachtungs-Art veranlafst wird. Ich mufs aber noch hinzufügen, dafs wenn man nicht die Geschwindigkeiten in einer einzelnen Perpendiculären, sondern die mittlern Geschwindigkeiten der horizontalen Wasserschichten in der ganzen Breite des Profils betrachtet, das Resultat ein ganz verschiedenes ist. Ueber

*) Ueber das Gesetz, wonach die Geschwindigkeit des strömenden Wassers mit der Entfernung vom Boden sich vergröfsert. Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1871.

den flachen Seitenböschungen des Flusses sind die Wassertiefen sehr geringe, und sonach auch die Geschwindigkeiten sehr mäfsig. Sobald man daher die letztern mit in Rechnung stellt, so kann es nicht fehlen, dafs selbst bei angemefsner Ausführung der Messungen, die mittlere Geschwindigkeit der obern Wasserschicht einen geringern Werth, als die der etwas tiefer belegenen annimmt. Die Ansicht aber, dafs in allen Punkten einer horizontalen Schicht desselben Querprofils die Geschwindigkeit gleich grofs sei, widerlegt sich durch alle Messungen, so wie man auch schon bei flüchtiger Betrachtung eines Stromes wahrnimmt, dafs in gewisser Entfernung vom Ufer, nämlich im Stromstrich, das Wasser schneller fliefst, als an andern Stellen. Die Beobachtungen ergeben auch, dafs diese Verschiedenheit in allen Tiefen sich widerholt. Die Unregelmäfsigkeiten des Bettes nicht nur in dem untersuchten, sondern auch in den weiter aufwärts belegenen Querprofilen sind Veranlassung, dafs das Wasser an gewissen Stellen des Profils stärker, als an andre hingedrängt wird, und deshalb verschiedene Geschwindigkeiten annimmt. Die mittlern Geschwindigkeiten der einzelnen Schichten sind daher von so vielen Zufälligkeiten abhängig, dafs man wohl davon absehn mufs, das Gesetz aufzufinden, nach welchem sie mit dem Abstande von der Sohle zunehmen. Die folgende Untersuchung bezieht sich daher allein auf die Geschwindigkeiten, welche in den verschiedenen Punkten derselben Perpendiculären stattfinden.

An der Sohle des Flufsbettes ist die Geschwindigkeit keineswegs gleich Null, sie behält vielmehr einen merklichen, oft sogar einen sehr bedeutenden Werth. Dieses zeigen nicht nur die wirklichen Messungen, sondern es ergiebt sich auch unmittelbar aus der bekannten Erscheinung, dafs Sand und selbst grober Kies auf dem Boden des Bettes in Bewegung ist, also von der Strömung fortgerissen wird. Auf dem obern Rhein, unterhalb Strafsburg, kann man, wie bereits erwähnt, sobald die Ruder nicht bewegt werden, und das Boot frei im Strome treibt, sogar das Rollen der kleinen Steine auf dem Boden deutlich hören.

Nennt man die Geschwindigkeit an der Sohle, also im Fufs der untersuchten Perpendiculären, C, während c die mittlere Geschwindigkeit in den ganzen Perpendiculären bezeichnet, so ist

$$\frac{C}{c} = \beta$$

für diese Perpendiculäre constant.

Wenn ferner α das relative Gefälle und t die Tiefe in einem Profil bezeichnet, welches durchweg gleiche Tiefe hat, und so breit ist, dafs der Einfluſs der Seitenwände auf die Bewegung des Wassers, also auf die mittlere Geschwindigkeit desselben, so geringe wird, dafs man ihn unbeachtet lassen darf, alsdann gilt der §. 18. gefundene Ausdruck

$$c = 4{,}33 \,.\, \sqrt{t} \,.\, \sqrt[6]{\alpha}$$

eben so gut für jede einzelne Perpendiculäre, wie für das ganze Quer-Profil. Durch Multiplication mit $1 - \beta$ erhält man

$$c = C + 4{,}43\,(1-\beta)\,\sqrt[6]{\alpha} \,.\, \sqrt{t}$$

oder

$$c = C + k \,.\, \sqrt{t}$$

wenn man die constanten Factoren zusammenfafst und deren Product mit k bezeichnet.

Die Geschwindigkeit v des Wasserfadens, der die untersuchte Perpendiculäre im Abstande h von der Sohle durchläuft, setzt sich zusammen aus der constanten Geschwindigkeit C und einer noch unbekannten Gröfse x, die von h abhängig ist, also

$$v = C + x$$

Der mittlere Werth dieser sämmtlichen Geschwindigkeiten, von $h = o$ bis $h = t$, ist demnach

$$c = C + \frac{\int x\,dh}{t}$$

Die Vergleichung mit dem obigen Ausdruck ergiebt

$$k\sqrt{t} = \frac{\int x\,dh}{t}$$

und wenn man die Differenziation ausführt, wobei das constante t in das variable h sich verwandelt,

$$\tfrac{3}{2}\,k\sqrt{h} = x$$

folglich

$$v = C + \tfrac{3}{2}\,k\sqrt{h}$$

$$= C + 6{,}5\,(1-\beta)\,\sqrt[6]{\alpha} \,.\, \sqrt{h}$$

Die Geschwindigkeits-Scale ist also eine Parabel, deren Achse senkrecht steht und deren Parameter gleich

$$6{,}5\left(1 - \frac{C}{c}\right)\sqrt[6]{\alpha}$$

ist. Der Scheitelpunkt derselben liegt in der Sohle des Flufsbettes, aber die sämmtlichen Ordinaten werden noch um C, oder um die

Geschwindigkeit vergröfsert, die im Fufs der Perpendiculären statt findet.

Es kommt nunmehr darauf an, die Richtigkeit dieses Gesetzes an ausgeführten Messungen zu prüfen. Ich wähle hierzu diejenigen, welche Brünings in den Jahren 1789 bis 1792 am Rhein, an der Waal, am Leck und an der Yssel theils selbst anstellte, theils durch andre namhafte Hydrotecten anstellen liefs. Diese Beobachtungen zeichnen sich vor allen sonst ausgeführten sowol durch ihre Vollständigkeit, als durch die dabei angewandte grofse Sorgfalt vortheilhaft aus. Der Zweck dieser Messungen war auch von ungewöhnlicher Bedeutung, denn es kam darauf an, zu wissen, wie bei verschiedenen Wasserständen die Wassermenge des Rheins sich auf die drei Arme vertheilt, in welche derselbe in den Niederlanden sich spaltet, und nach Maafsgabe dieser Vertheilung sollten die Deiche so verbessert werden, dafs sie den nöthigen Schutz wirklich bieten. Wiebeking hat diese Beobachtungen mitgetheilt und näher beschrieben *), hier mag nur erwähnt werden, dafs im Ganzen 17 Quer-Profile und in diesen 117 Perpendiculären gemessen wurden. In jeder der letztern wurden von etwa 6 Zoll unter der Oberfläche bis etwa 1 Fufs über der Sohle in Abständen von 6 zu 6 Zoll die Geschwindigkeiten beobachtet, während die Tiefen in einigen wenigen Fällen nur 4 bis 7 Fufs, gemeinhin aber bedeutend gröfser und mehrmals über 20 Fufs waren.

Die graphische Darstellung dieser 117 Geschwindigkeits-Curven wies vielfach auf parabolische Formen, dem obigen Gesetz entsprechend, hin, wiewohl aus den bereits früher entwickelten Gründen sowol in der Nähe des Wasserspiegels, wie der Sohle meist bedeutende Abweichungen vorkommen. Nach Beseitigung der in der gröfsten Höhe und Tiefe angestellten Messungen, die vom allgemeinen Zuge der Curve wesentlich abwichen, berechnete ich aus den übrigen, also aus den durchschnittlich zwischen 10 Zoll unter dem Wasserspiegel und 18 Zoll über der Sohle liegenden Beobachtungen die wahrscheinlichsten Werthe der Geschwindigkeit an der Sohle und des Parameters.

Die Beobachtungsreihen waren unter sich in Betreff ihrer Re-

---

*) Allgemeine Wasserbaukunst. I. Band. Erste Ausgabe von 1798. Seite 352 bis 379.

gelmäfsigkeit sehr verschieden, wenn auch in keinem Falle solche Abweichungen vorkamen, wie in den von Humphreys und Abbot mitgetheilten Messungen. Es schien daher passend diejenigen Reihen, welche die gröfste Regelmäfsigkeit in der graphischen Darstellung zeigten, besonders zu behandeln. Dieses waren 24 Reihen, und aus diesen ergab sich der Zahlen-Coefficient, der nach der frühern Untersuchung 4,33 war, gleich 4,68. Er war also um 8 Procent gröfser. Diese Differenz kann insofern nicht befremden, als bei jener Herleitung die ganzen Profile, bei dieser aber nur die einzelnen Perpendiculären zum Grunde gelegt sind, und die verschiedenen Perpendiculären in denselben Querprofilen sehr verschiedene Geschwindigkeiten in gleichen Tiefen zeigen. Nichts desto weniger ist die Uebereinstimmung jenes Factors vergleichungsweise zum wahrscheinlichen Fehler desselben dennoch durchaus befriedigend.

Ich bemühte mich vergebens, die Beziehung zwischen C oder der Geschwindigkeit an der Sohle des Bettes und dem Parameter p zu entdecken. Nach den Beobachtungen stellten sich beide als ganz unabhängig von einander dar, und dieses dürfte sich dadurch erklären, dafs die untern Wasserfäden in Folge der Gestaltung des Bettes bald stärker gegen einander gedrängt, bald aber bei eintretenden Erweiterungen von einander entfernt werden. Wenn die untersuchte Perpendiculäre vielleicht auf einen Punkt in der Sohle trifft, der vor die weiter aufwärts belegenen bedeutend vorragt, so giebt die Concentrirung der Wasserfäden hier ohne Zweifel Veranlassung zur Vergröfserung der Bodengeschwindigkeit, während die darüber liegenden Wasserfäden von den untern getragen werden, also die Geschwindigkeit derselben annehmen, diese aber den Abständen von der Sohle entsprechend noch vergröfsern. Es mag indessen erwähnt werden, dafs jene 24 Beobachtungsreihen als mittlern Werth

$$\sqrt{p} = 0{,}225 \,.\, C$$

ergaben.

Besonders wichtig war die Beantwortung der Frage, in welcher Höhe die mittlere Geschwindigkeit aller Wasserfäden, welche die ganze Perpendiculäre durchlaufen, sich darstellt. h' sei der Abstand dieses gesuchten Punktes von der Sohle, so hat

$$c = v = C + \sqrt{p} \,.\, \sqrt{h'}$$

die mittlere Geschwindigkeit, ist aber gleich dem Flächeninhalt der

Parabel dividirt durch die Höhe oder durch t, und vermehrt um die Constante C, also

$$c = C + \tfrac{2}{3}\sqrt{p} \,.\, \sqrt{t}$$

Folglich ist der gesuchte Abstand vom Boden

$$h' = \tfrac{4}{9}\, t$$

Man kann sonach die mittlere Geschwindigkeit einer Perpendiculären unmittelbar beobachten, wenn man die Messung im Abstande von $\frac{4}{9}$ der Tiefe über der Sohle oder von $\frac{5}{9}$ der Tiefe unter der Oberfläche anstellt.

Nachdem, wie bereits erwähnt, für jede einzelne Beobachtungsreihe die wahrscheinlichsten Werthe von C und p berechnet worden, war es leicht die Gültigkeit dieses Satzes an jeder einzelnen Reihe zu prüfen, und dadurch zugleich ein sicheres Urtheil über die Richtigkeit der ganzen vorstehenden Entwickelung zu gewinnen.

Brünings hat für jede Beobachtungs-Reihe die mittlere Geschwindigkeit berechnet, doch entsprechen diese Angaben nicht genau den arithmetischen Mitteln aus den betreffenden Geschwindigkeiten. Die Abweichungen sind nicht bedeutend und betragen in den äufsersten Fällen nur $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ Zoll, während die Geschwindigkeiten zwischen 28 und 56 Zoll messen.

Indem ich mit den verbesserten Werthen der mittlern Geschwindigkeiten, die zu $h = \frac{4}{9}\, t$ gehörigen Geschwindigkeiten unter Zugrundelegung der für jede Perpendiculäre berechneten C und p verglich, so ergab sich für jene 24 Reihen, welche sich nach der Zeichnung als die regelmäfsigsten darstellten, eine überraschende Uebereinstimmung. Die Differenz war nur in einem Falle gleich 1 Zoll, und betrug in der mittlern Gröfse (dem wahrscheinlichen Fehler entsprechend) 0,27 Zoll. In den übrigen 93 Reihen waren die Abweichungen gröfser. 22 mal betrugen sie 1 Zoll oder darüber und in einem Falle sogar nahe 3 Zoll, ihre mittlere Abweichung ergab sich indessen doch nur gleich 0,645 Zoll. Es ist gewifs zweifelhaft, ob man durch gewöhnliche Messungen, wobei man doch die Beobachtungen in weitern vertikalen Abständen anzustellen pflegt, eine gröfsere Genauigkeit als diese erreicht.

Ich prüfte die Richtigkeit des vorstehenden Resultates noch an 18 andern Beobachtungs-Reihen, die in neuster Zeit zur Bestimmung der Wassermenge der Elbe bei verschiedenen Wasserständen, unterhalb Arneburg, durch meinen Sohn L. Hagen ausgeführt sind.

Die mittlern Geschwindigkeiten waren in zwei Fällen sehr geringe, nämlich 6 und 8 Zoll, sonst stellten sie sich aber auf 22 bis 50 Zoll. In den einzelnen Perpendiculären wurden die Geschwindigkeiten zum Theil in Abständen von 1 Fufs, und zum Theil von 2 Fufs unter einander gemessen, und zwar mit dem Woltman'schen Flügel. Wegen der geringern Anzahl der Beobachtungen in jeder Perpendiculären konnten die Resultate augenscheinlich nicht die Sicherheit jener Messungen von Brünings haben, indem ich sie aber in gleicher Weise, wie jene behandelte, zeigte sich dennoch wieder eine befriedigende Uebereinstimmung zwischen den mittlern Geschwindigkeiten und den für die Tiefen

$$h = \tfrac{4}{9}\, t$$

berechneten. Die Abweichungen in den gröfsern Geschwindigkeiten überstiegen 3mal den Werth von 2 Zoll, und stellten sich im Mittel oder in ihrer wahrscheinlichen Gröfse auf 0,94 Zoll. Es mufs aber noch besonders erwähnt werden, dafs hier sowol, wie auch bei den Messungen von Brünings die Abweichungen keineswegs immer das gleiche Zeichen hatten, vielmehr die für die angegebene Tiefe berechneten mittlern Geschwindigkeiten bald gröfser und bald kleiner waren, als die unmittelbar hergeleiteten.

Es ergiebt sich hieraus, dafs die directe Messung der mittlern Geschwindigkeit in jener Tiefe sehr sicher ist, namentlich wenn man dieselbe etwa zweimal anstellt um zufällige gröfsere Beobachtungsfehler zu vermeiden. Jedenfalls ist dieses Verfahren viel weniger zeitraubend, als wenn in üblicher Weise eine gröfsere Anzahl von Messungen in derselben Perpendiculären gemacht werden mufs, wobei noch die fehlerhaften Beobachtungen in der Nähe des Wasserspiegels und des Grundes nachtheiligen Einfluſs auf die Resultate ausüben.

Nichts desto weniger ist die Messung der Geschwindigkeit in einer gewissen Tiefe beschwerlicher, als diejenige in der Oberfläche, welche mittelst Schwimmern besonders leicht auszuführen ist, und wobei man nur vermeiden mufs, dafs nicht etwa der Wind darauf einwirkt. Man wird solche also nur bei ruhiger Witterung vornehmen dürfen, auch den Schwimmer nicht weit über das Wasser vorragen lassen. Es empfiehlt sich daher, letztern aus zwei kreuzweise und hochkantig zusammengefügten Brettchen darzustellen, die in ihrer Kreuzung einen Pflock tragen, der vom Ufer aus sichtbar

ist. Dabei ist aufserdem darauf Rücksicht zu nehmen, dafs durch Einschneiden von einem Punkte am Ufer, der zwischen den beiden abgesteckten Querlinien sich befindet, die Stellen genau bestimmt werden, an welchen die Schwimmer durch die Visirlinien treiben. Hierdurch kann man sich leicht überzeugen, ob die durchlaufenen Wege der allgemeinen Richtung des Flusses ungefähr parallel sind, oder ob sie merklich davon abweichen. Im letztern Falle müfste die Geschwindigkeit im Verhältnifs des Cosinus der Abweichung vermindert werden.

Die mittlere Geschwindigkeit läfst sich indessen nach dem vorstehend entwickelten Gesetze aus der in der Oberfläche gemefsnen nur herleiten, wenn man voraussetzt, dafs die Geschwindigkeit am Boden, also C, in constantem Verhältnifs zur Wurzel des Parameters steht, was nach Obigem nicht vollständig bestätigt wird. Setzt man

$$\frac{\sqrt{p}}{C} = a$$

und nennt man die Geschwindigkeit im Wasserspiegel u, so ist

$$u = (1 + a \,.\, \sqrt{t})\, C$$

und die mittlere Geschwindigkeit, oder c

$$c = (1 + \tfrac{2}{3}\, a \,.\, \sqrt{t})\, C$$

folglich

$$c = \frac{1 + \frac{2}{3}\, a \,.\, \sqrt{t}}{1 + a \,.\, \sqrt{t}} \,.\, u$$

und wenn man für a den oben gefundenen Zahlenwerth 0,225 einführt,

$$c = \frac{1 + 0{,}15 \,.\, \sqrt{t}}{1 + 0{,}225 \,.\, \sqrt{t}} \,.\, u$$

Der Factor, mit dem man u multipliciren mufs, um c zu finden, ist sonach allein von der Tiefe abhängig, und es stellt sich

bei t =	1	Fufs auf	0,939
=	2	- -	0,920
=	3	- -	0,907
=	4	- -	0,896
=	5	- -	0,888
=	10	- -	0,861
=	15	- -	0,846
=	20	- -	0,833
=	25	- -	0,823
=	30	- -	0,816
=	35	- -	0,810
=	40	- -	0,804

Indem ich für jene 24 regelmäfsigeren Beobachtungs-Reihen zunächst aus C und p die Geschwindigkeiten in der Oberfläche, und aus diesen nach vorstehender Tabelle die mittlern Geschwindigkeiten berechnete, schlossen sich diese wieder so zufriedenstellend an die unmittelbar berechneten an, dafs die mittlere Abweichung nur 0,80 Zoll betrug. Hiernach dürfte auch dieses Verfahren zur Bestimmung der mittlern Geschwindigkeit in vielen Fällen genügen.

§. 28.
Uferlinien.

Indem selbst geringe Unregelmäfsigkeiten im Stromlauf theils durch die Ablenkung des Wassers, die sie unmittelbar verursachen, und theils durch neue Sand- und Kies-Ablagerungen, sich leicht bedeutend ausbilden, und alsdann besonders heftige Angriffe gegen die Ufer veranlassen, so ist es dringend nöthig, bei Regulirung einer Stromstrecke, dieselbe möglichst regelmäfsig auszubilden. Diese Forderung sollte eigentlich auf alle verschiedenen Wasserstände ausgedehnt werden, wenn man aber bei neuen Deichanlagen hierauf auch Rücksicht zu nehmen pflegt, und selbst in ältern Deichen einzelne weit vortretende Ecken beseitigt, so verbietet doch meist die Beschaffenheit der Thalsohle dem Hochwasser einen ganz geregelten Lauf anzuweisen, und dieses ist auch insofern weniger dringend, als die stärkste Strömung desselben die tiefsten Senkungen verfolgt, und nach Regulirung des eigentlichen Strombettes in diesem die Hauptströmung sich zu concentriren pflegt. Eine Ausnahme hiervon findet vorzugsweise nur in dem Falle statt, wenn das Bett eine starke Serpentine beschreibt, deren Schenkel nicht durch natürliche Höhen oder wasserfreie Deiche von einander getrennt sind, so dafs die Fluthen in Folge der Abkürzung des Laufes über den Wiesengrund hin einen leichtern Abfluſs finden, als im Strombett. Dieser Umstand ist jederzeit für letzteres sehr nachtheilig, indem Verflachungen darin alsdann einzutreten pflegen.

Hier soll nur von der regelmäfsigen Begrenzung des Bettes, also derjenigen Rinne die Rede sein, welche das mittlere und

das kleine Wasser abführt. Nachdem die derselben zu gebende Breite bekannt ist, kommt es darauf an die beiderseitigen Uferlinien zu bestimmen. Diese fallen aber, da gewöhnlich die Regulirung mit einer Beschränkung der frühern Breite verbunden ist, vielfach in das bisherige Bett, und wenn es auch immer Absicht ist, zur Ausbildung vollständiger Ufer Veranlassung zu geben, die nur selten unmittelbar künstlich dargestellt werden können, so werden diese Linien durch Parallelwerke, die frei im Strome liegen, oder gewöhnlich durch die Köpfe der Buhnen festgelegt. Sind letztere gehörig angeordnet und nicht zu weit von einander entfernt, so wirken sie auf die Strömung vortheilhaft ein, und diese gestaltet sich so regelmäfsig, als wenn sie vor geschlofsnen Ufern statt fände. Damit dieser Zweck wirklich erreicht wird, kommt es besonders darauf an, diese Uferlinien, die man auch Streichlinien nennt, angemessen zu wählen.

Indem man, wie bereits §. 26. erwähnt, zur Vermeidung übermäfsiger Kosten und um zugleich bis zur erfolgten Umgestaltung des Bettes weder die Schiffahrt, noch die Vorfluth zu beeinträchtigen, immer bemüht sein mufs, den gegenwärtigen Stromlauf möglichst beizubehalten, so ist die genaue Kenntnifs des letztern dringend geboten. Die vollständige Aufnahme der zu regulirenden Strecke mit Bezeichnung der Tiefen im Strombett und der Höhen der benachbarten Ufer ist daher nothwendig. Wenn aber solche Charte bereits vorhanden ist, so müssen die inzwischen eingetretenen Veränderungen sorgfältig nachgetragen werden. Das neue Bett wird so angeordnet, dafs es möglichst sich an das alte anschliefst, um die nothwendigen Aenderungen auf das kleinste Maafs zurückzuführen, und vorzugsweise mufs man darauf Bedacht nehmen, das bisherige Fahrwasser nicht vollständig zu sperren, weil dadurch die Schiffahrt bis zur Ausbildung des neuen Bettes unterbrochen würde, was in keinem Fall geschehn darf. Wenn daher eine Aenderung dieser Art nicht vermieden werden kann, wie zuweilen geschieht, so bleibt nur übrig, die neue Fahrrinne vor Schliefsung der alten, in der erforderlichen Tiefe auszugraben und auszubaggern, oder aber die Buhnen, welche den Stromlauf verändern sollen, nicht gleich in der vollen Länge auszubauen, sie vielmehr nur nach und nach vorzutreiben, so dafs vor ihren Köpfen immer ein Theil des Fahrwassers offen bleibt, das aber in Folge

ihrer Einwirkung sich verbreitet und alsdann wieder die weitere Fortsetzung des Baues zuläfst. Im letzten Falle wird die Ausführung aufserordentlich erschwert und vertheuert, insofern man bei jeder neuen Verlängerung grofse Tiefen antrifft, die früher nicht bestanden. Im andern Falle aber, dafs die Fahrrinne, wenn auch nur in mäfsiger Breite künstlich ausgehoben wird, stellen sich die Kosten dafür gleichfalls höher, als wenn man den Strom veranlafst, das neue Bett selbst auszubilden.

Es läfst sich vielfach nicht vermeiden, die Streichlinien so zu ziehn, dafs sie den Wiesengrund und selbst das höhere Ufer treffen und einzelne Ecken oder längere Streifen desselben abschneiden. Dieser Uebelstand ist im Allgemeinen von geringerer Bedeutung, man wird aber immer sich bemühen müssen, ihn nicht zu weit auszudehnen, weil dabei nicht nur die Kosten des Abgrabens in Betracht kommen, sondern das zu beseitigende Terrain auch gekauft werden mufs. Anforderungen dieser Art werden aber auch, und zwar nicht ohne Grund erhoben, wenn man im Interesse der Regulirung solche vortretende Ecken nicht unmittelbar abgräbt, sondern durch künstlich verstärkten Angriff des Stroms abtreiben läfst.

Bei Feststellung der Uferlinien wird man ferner auf den Leinpfad Rücksicht zu nehmen haben und dafür sorgen, dafs ein bequemer, für Pferde oder Menschen gangbarer Weg möglichst nahe am tiefen Fahrwasser sich einrichten läfst, der auch ohne Beeinträchtigung der Vorfluth bis zum höchsten schiffbaren Wasser erhöht werden kann. Demnächst ist den Landungs-Plätzen und Häfen besondere Sorgfalt zuzuwenden, damit vor denselben nicht etwa Verflachungen entstehn, vielmehr der Strom selbst hier die hinreichende Tiefe dauernd erhält. Dieses geschieht am sichersten, wenn die betreffenden Ufer concav gehalten werden. Bei Einmündungen von gröfsern und kleinern Seitenzuflüssen ist dieselbe Rücksicht zu nehmen. Sollten endlich schwer zu beseitigende Steinriffe oder gar gewachsene Felsen aus dem Strombett vortreten, so mufs man den neuen Stromlauf so verlegen, dafs er dieselben gar nicht berührt. Man wird aber durch genaue Untersuchung des Bodens und namentlich durch Bohrungen sich davon überzeugen, dafs bei der Vertiefung des neuen Bettes solche nicht in ähnlicher Weise zum Vorschein kommen.

Sehr wichtig ist für die Erhaltung der Tiefe im Fahrwasser noch die Strömung des Hochwassers. Verflachungen sind viel weniger zu besorgen, wenn letzteres das neue Bette verfolgt, als wenn dessen Hauptströmung sich zur Seite von diesem hinzieht, und besonders nachtheilig ist es, wenn das Hochwasser das Strombette kreuzt, in welchem Falle es dieses an solcher Stelle jedesmal verflacht und oft sogar ganz anfüllt.

Krümmungen des Stromlaufes sind im Allgemeinen keineswegs nachtheilig, im Gegentheil pflegen längere, sanft gekrümmte Strecken sich am regelmäfsigsten auszubilden, da die stärkste Strömung und die tiefste Rinne in der Nähe des concaven Ufers liegen. Beim Entwerfen der Streichlinien wird man daher mit der concaven Seite den Anfang machen, weil bei der Wahl derselben die erwähnten Umstände berücksichtigt werden müssen. Nachdem sie festgelegt, ergiebt sich die convexe Uferlinie unmittelbar aus der Breite des Stroms, und vorzugsweise werden hinter dieser die Einschränkungs-Werke anzuordnen sein, während in vielen Fällen gar keine Veranlassung zur Erbauung der letztern vorliegt, auch Uferdeckungen daselbst nicht erforderlich sind.

Die Krümmungen dürfen jedoch, wenn sie die Schiffahrt und die Vorfluth nicht beeinträchtigen sollen, ein gewisses Maafs nicht überschreiten. Die in dieser Beziehung inne zu haltende Grenze ist von manchen Umständen, namentlich von der Stärke der Strömung, der Breite des Bettes und der Gröfse des Winkels, den der Strom beschreibt, abhängig. Je schwächer die Strömung, je breiter das Bette ist, und je weniger die Richtung des Laufes sich ändert, um so kleiner darf verhältnifsmäfsig der Krümmungshalbmesser angenommen werden. Im Allgemeinen dürfte wohl die Krümmung der concaven Uferlinie nicht als nachtheilig anzusehn sein, so lange der Halbmesser das Fünffache der Breite des Strombettes beträgt, oder noch gröfser ist. Es läfst sich freilich nicht vermeiden, dafs man zuweilen unter diesem Maafse bleiben und einen bedeutend geringern Krümmungshalbmesser wählen mufs, die Befahrung solcher Strecken, namentlich bei stärkerer Strömung, wird indessen alsdann beschwerlich, und man darf nicht mehr durch Buhnen das concave Ufer verbauen, vielmehr mufs man zur unmittelbaren Deckung desselben, oder wenn die Streichlinie weiter in den Strom tritt, zur Anlage von Parallelwerken übergehn.

Im Uebergange aus einer Krümmung in die entgegengesetzte pflegt die Tiefe wesentlich geringer zu sein, als in den gekrümmten Strecken. Die tiefern Rinnen, welche sich vor zwei einander folgenden concaven Ufern zu beiden Seiten des Stromes bilden, stehn nämlich nicht in Verbindung. Indem jede das betreffende Ufer verfolgt, schiefsen sie oft neben einander vorbei, und zwischen ihnen liegt eine Untiefe, die bei nicht regulirten Strömen gemeinhin ein wesentliches Schiffahrts-Hindernifs bildet. Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, dafs das Wasser beim Ueberströmen dieser Stelle durch kein Ufer am Ausweichen verhindert wird, sich also ausbreitet und sonach nicht mehr die Kraft besitzt, eine tiefere Rinne zu bilden und offen zu erhalten. Zuweilen verfolgt an solchen Stellen auch das Hochwasser einen andern Weg, als das kleine Wasser. Die Methode zur Regulirung des Ueberganges besteht aber darin, dafs man in demselben durch niedrige Werke die Einschränkung weiter treibt, als in den gekrümmten Strecken, um dem kleinen Wasser einen bestimmten Weg anzuweisen.

Es ergiebt sich hieraus unmittelbar die Regel, dafs man die Anzahl der Uebergänge aus einer Krümmung in die entgegengesetzte nicht unnöthiger Weise vergröfsern darf. In dieser Beziehung ist es besonders wichtig, längere Ufer, die ihrer Richtung nach im Allgemeinen concav sind, nicht etwa auf kurze Strecken durch entgegengesetzte Krümmungen, die man auch Contracurven nennt, zu unterbrechen, sie also convex vortreten zu lassen. Wo dieses geschieht, zeigen sich jedesmal Unregelmäfsigkeiten und Verflachungen im Strombette.

Man ist häufig der Meinung, dafs man weder auf die Festlegung der Streichlinien, noch auf die Innehaltung derselben in der Ausführung der Buhnen und Parallelwerke grofse Sorgfalt zu verwenden braucht, da geringe Abweichungen bei der grofsen Breite des Stroms nicht nachtheilig sein können. Man bemerkt auch in der That nicht selten, dafs die Buhnenköpfe sehr unregelmäfsig gegen einander vortreten. Bei näherer Untersuchung der Wirkungen und namentlich der tiefern Kolke, die sich vor diesen Köpfen gebildet haben, überzeugt man sich aber leicht, dafs solche Unachtsamkeit keineswegs ohne schädliche Folgen bleibt. Die Strömung ist nicht mehr gleichmäfsig und verstärkt sich auffallend vor denjenigen Werken, die am meisten vorspringen. Vielfach giebt zu

solchen Unregelmäfsigkeiten die fehlerhafte Aufnahme der Charte. oder die inzwischen eingetretene Veränderung der Ufer Veranlassung. Der Anschlag bezeichnet die Länge jeder einzelnen Buhne, und hiernach wird gebaut, ohne Rücksicht auf den Zug der Streichlinie.

Die Strömung allein bildet und erhält die tiefe Fahrrinne, und diese gestaltet sich um so regelmäfsiger, entspricht also um so vollständiger dem Bedürfnifs der Schiffahrt, je regelmäfsiger die Strömung ist. Der Strom darf daher nirgend gewaltsam angegriffen, mufs vielmehr nur sanft in eine andre Richtung geführt werden. Wo man mit möglichster Vorsicht diesen Grundsatz beobachtet, wie beispielsweise am Preufsischen Rhein geschieht, und daneben auch für möglichst flache Böschungen vor den Buhnenköpfen sorgt, da gelingt es, normale Fahrwasser auszubilden, in welchen die unvermeidlichen gröfsern Tiefen vor den Werken sich nur wenig bemerkbar machen. Wie wichtig aber die regelmäfsige Verbauung eines Ufers ist, ergiebt sich auch daraus, dafs selbst in solchen Fällen, wo von der Einschränkung des Strombettes ganz abgesehn werden mufs, wie etwa wenn das gegenüber liegende Ufer fremdherrlich ist, durch dieses Mittel schon die Fahrrinne einigermaafsen herangezogen und erhalten werden kann.

Um solche Erfolge zu erreichen, kommt es nicht nur darauf an, dafs die Curve der Uferlinie sich tangential an das benachbarte geradlinige, oder gleichfalls gekrümmte Ufer anschliefst, sondern die Uebergänge aus einer Curve oder aus der geraden Linie in die folgende Curve dürfen auch nicht schroff sein, sondern müssen sanft eingeleitet werden. Schon bei Eisenbahnen ist diese Rücksicht von grofser Bedeutung, wenn sie gleich gewöhnlich unbeachtet bleibt. Bei der Verbindungsbahn in Hamburg gaben die plötzlichen Uebergänge aus der geraden in scharf gekrümmte, oder aus letztern in entgegengesetzt gekrümmte Linien zu vielfachen Entgleisungen Veranlassung, wiewohl die Linien sich jedesmal tangential aneinander anschlossen. Dazu kamen freilich noch die starken Ueberhöhungen der auf den convexen Seiten belegenen Schienen. Auch auf andern Bahnen kann man Uebergänge dieser Art an den starken Stöfsen jedesmal fühlen. Weisbach empfahl daher sehr passend, statt der Kreisbogen, die man gewöhnlich anwendet, elastische

Linien zu wählen, um sanfte Uebergänge der Krümmungen darzustellen.

Diese Rücksicht ist auch beim Strombau dringend geboten. Die Ablenkung ist freilich, wenn man unmittelbar in einem Kreisbogen übergeht, vor der ersten Buhne nicht stärker, als vor der, die im Scheitel der Curve liegt, aber die Strömung ist an beiden Stellen eine ganz verschiedene. An jene treten die Wasserfäden in geradliniger Bewegung heran, es tritt also eine plötzliche Veränderung dieser Bewegung ein, welche auch auf die entfernten Fäden nicht ohne Einfluſs ist. Die Querströmungen, die hier veranlaſst werden, so wie die durch den Aufstau verursachte gröſsere Geschwindigkeit fordern ein andres Querprofil, und solches darf nicht ohne sanften Uebergang sich plötzlich an einem Punkte ausbilden. Handelt es sich daher um die Correction einer Strecke, die sowol oberhalb, wie unterhalb von geraden Strecken begrenzt wird, und die möglichst passend gekrümmt werden soll, so dürfte die Streichlinie des concaven Ufers in folgender Weise am leichtesten zu bestimmen sein.

Es seien nach Figur 89. auf Taf. XII. A und C die beiden Punkte, in welchen die geraden Uferlinien AB und CG aufhören. Man verlängere diese Linien, bis sie sich im Punkte E schneiden. Der Winkel, den sie hier bilden, sei gleich 2ψ. Die Winkel, den die Linien AE oder CE mit der Verbindungslinie AC machen, werden alsdann gleich $90^0 - \psi$ sein. Die Linie AC sei gleich $2u$, und die Pfeilhöhe DF, die sich aus dem bestehenden Stromlaufe ergiebt, insofern derselbe möglichst wenig sich ändern soll, gleich v. Die Abscissen x werden vom Punkte A aus in der Richtung nach D gemessen, während die Ordinanten y darauf senkrecht stehn.

Die gesuchte Linie soll, wenn man den ersten der beiden congruenten Schenkel betrachtet, im Punkte A noch in die frühere Richtung fallen, und sich anfangs nur unmerklich davon entfernen, die Abweichung wird aber bei wachsendem x um so gröſser. Hiernach empfiehlt sich für sie die Gleichung

$$y = x \operatorname{Cotg} \psi - n x^z$$

folglich

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{Cotg} \psi - n \,.\, z \,.\, x^{z-1}$$

und

$$\frac{d^2y}{dx^2} = - n \,.\, z \,.\, z - 1 \,.\, x^{z-2}$$

In dem Punkte A, wo $x = o$

ist $$\frac{dy}{dx} = \text{Cotg}\,\psi$$

und $$\frac{d^2y}{dx^2} = o$$

In dem Scheitelpunkte F ist $x = u$ und $y = v$

also $$v = u\,\text{Cotg}\,\psi - nu^z$$

hier soll aber $\frac{dy}{dx} = o$ sein, also hat man auch

$$o = \text{Cotg}\,\psi - nzu^{z-1}$$

Aus diesen beiden letzten Gleichungen ergeben sich die Werthe von n und z, durch ψ, u und v ausgedrückt, nämlich

$$z = \frac{u\,\text{Cotg}\,\psi}{u\,\text{Cotg}\,\psi - v}$$

und wenn der Exponent z in seinem Zahlenwerthe hiernach berechnet ist

$$n = \frac{u\,\text{Cotg}\,\psi - v}{u^z} = \frac{\text{Cotg}\,\psi}{zu^{z-1}}$$

n läfst sich auch direct ausdrücken, wenn man die Entfernung der Punkte A und C von einander gleich 2 setzt, also $AD = DC$ als Einheit des Längenmaafses einführt. Alsdann ist nämlich

$$n = \text{Cotg}\,\psi - v = \frac{\text{Cotg}\,\psi}{z}$$

Hiernach läfst sich der Zug der Curve leicht berechnen. Beispielsweise sei übereinstimmend mit der Figur der Winkel, den die beiden geraden Ufer gegen einander bilden, gleich 104 Grade, also $\psi = 52$ Grade, die Entfernung $AC = 2u = 300$ Ruthen und die Pfeilhöhe des concaven Ufers gegen diese Linie oder $v = 69$ Ruthen. Nimmt man daher die Länge u als Einheit an, so ist $v = 0{,}46$. Hieraus ergiebt sich der Exponent

$$z = 2{,}4318$$

und der Factor $$n = 0{,}3213$$

Man findet alsdann

für	$x = 0{,}1$	$y =$	$0{,}0769$
	$= 0{,}2$	$=$	$0{,}1498$
	$= 0{,}3$	$=$	$0{,}2172$
	$= 0{,}4$	$=$	$0{,}2779$
	$= 0{,}5$	$=$	$0{,}3311$

für	$x = 0{,}6$	$y =$	$0{,}3760$
	$= 0{,}7$	$=$	$0{,}4119$
	$= 0{,}8$	$=$	$0{,}4383$
	$= 0{,}9$	$=$	$0{,}4545$
	$= 1{,}0$	$=$	$0{,}4600$

Der Krümmungshalbmesser für den Scheitel, in welchem $\frac{dy}{dx} = o$, ergiebt sich

$$\varrho = \frac{1}{\frac{d^2y}{dx^2}} = -\frac{1}{n \,.\, z \,.\, z-1}$$

und für dieses Beispiel

$$\varrho = 0{,}8940$$

wieder in der Einheit u ausgedrückt. Hätte man dagegen durch die Punkte A, F und C einen Kreisbogen geschlagen, so wäre der Krümmungshalbmesser gleich 1,3170, also im Verhältnifs von 3 zu 2 gröfser. Diese schärfere Krümmung der berechneten Curve ist die Folge der eingeführten Bedingung, dafs der Uebergang aus der geraden Linie nicht plötzlich stattfinden soll, woher die Ablenkung, deren Maafs gegeben ist, sich im Scheitel verstärken mufs.

Die schärfste Krümmung stellt sich indessen nicht immer im Scheitel der Curve ein, sie rückt vielmehr, wenn die Pfeilhöhe vergleichungsweise gegen die Sehne AC sehr klein wird, näher an die Anfangspunkte A und C. Beispielsweise ist in die Figur noch eine Curve dieser Art eingetragen, bei der die Pfeilhöhe nur

$$v = 0{,}05 \,.\, u$$

ist. Im Allgemeinen entspricht diese Curve noch der frühern, und dieses ist der Grund weshalb ich die angegebene Gleichung statt derjenigen der elastischen Linie gewählt habe. Letztere entfernt sich bei so geringer Pfeilhöhe weniger schroff von der Richtung der geraden Linie, welche die vorhergehende Richtung der Uferlinie bezeichnet, sie steigt aber in beiden Schenkeln über die zum Grunde gelegte Pfeilhöhe an und erreicht letztere im Scheitelpunkte, indem sie in ihrem mittlern Theile eine entgegengesetzte Krümmung annimmt. In der Anwendung auf den Strombau kommen indessen so kleine Pfeilhöhen wohl nicht vor, denn wenn die Richtungen AB und CG, wie auch der Punkt H gegeben wären, so würde man eine Trennung vornehmen und die passendsten Streichlinien zwischen B und H, sowie zwischen H und G besonders ermitteln.

Wenn man auch noch niemals Rechnungen dieser Art zur Feststellung der Ufer- und Streichlinien ausgeführt hat, so sind dieselben doch von Bedeutung, da die Erfahrung zeigt, wie der Erfolg einer Stromregulirung wesentlich von der Lage und Ausdehnung der einzelnen Werke abhängt. Handelt es sich aber um die Regulirung einer Stromstrecke, worauf 10 bis 20 Tausend Thaler und oft noch gröfsere Summen verwendet werden, so rechtfertigt sich gewifs der Zeitaufwand von etwa einer Stunde, um auf dem angegebenen Wege das passendste Project aufzustellen. Damit die Rechnung aber wirklich nutzbar wird, müssen die ihr zum Grunde liegenden Abmessungen in der erforderlichen Schärfe richtig, also aus einer genauen Aufnahme des Terrains entnommen sein. Auch ist es nothwendig die Hauptpunkte dieser Aufnahme so sicher zu bezeichnen, dafs man bei Ausführung des Baues sowol die Richtung jeder Buhne, wie die Lage ihres Kopfes mit Leichtigkeit und in hinreichender Schärfe auf dem Terrain auffinden kann.

Ein andres Verfahren zur Darstellung der Uferlinien, welches, wenn auch weniger genau, doch ohne Rechnung zu brauchbaren Resultaten führt, ist bei den Strombauten am Preufsischen Antheil des Rheins schon seit längerer Zeit im Gebrauch. Es beruht auf der Benutzung eines elastischen Stabes oder sehr schmalen Lineals. Dasselbe besteht aus Fischbein, doch mufs man sich davon überzeugen, dafs es wirklich in seiner ganzen Länge überall der Krümmung gleichen Widerstand entgegensetzt. Wird dieser Stab auf die Charte gelegt und in dem Scheitel der gekrümmten Uferlinie fest eingespannt, was am bequemsten durch ein schweres Gewicht geschieht, das mit der vortretenden scharfen Kante ihn auf das Papier drückt, und biegt man denselben alsdann so weit, dafs er an das geradlinige Ufer sich anschliefst, so bildet er eine Curve, welche den vorstehend bezeichneten Bedingungen gleichfalls entspricht, und man kann unmittelbar an seinem Rande, wie an einem Curvenlineal, die Uferlinie ausziehn. Solche elastische Lineale, deren man sich auf den Schiffsbaustellen allgemein bedient, um die durch Rechnung bestimmten Punkte des Spantenrisses passend zu verbinden, kann man zur Bestimmung der Ufer- und Streichlinien auch in der Art benutzen, dafs sie mehrere Krümmungen umfassen, und für deren Verbindung die Uebergänge bezeichnen.

Die richtige Lage der Buhnenköpfe läfst sich, wie man häufig

hört, am sichersten auf der Baustelle selbst beurtheilen. Dieses ist auch in der That der Fall, wenn man bei Aufnahme des Terrains nicht für gehörige Bezeichnung der Linien und Winkelpunkte gesorgt hat, nach denen die Ausführungen sich leicht controliren lassen. Dabei tritt aber der grofse Uebelstand ein, dafs man nach Beendigung des Baues die vorgefundenen Fehler nicht mehr zu verbessern im Stande ist, und solche pflegen selten zu fehlen, wenn nicht jene Messungen mit Sorgfalt vorgenommen waren, man vielmehr nur die Richtung und die Längen der einzelnen Werke kennt. Die letzte Bezeichnung wird aber illusorisch, wenn das Ufer seit der Aufnahme abgebrochen ist, und vielfach wird auch ein Bau als beendigt angesehn, wenn das für denselben veranschlagte und beigeschaffte Material verbraucht ist. Auf die während der Ausführung eintretende Vertiefung wird zwar immer Rücksicht genommen, doch läfst sich diese keineswegs mit Sicherheit vorher bestimmen, und so geschieht es nicht selten, dafs die Buhnen länger, und noch häufiger, dafs sie kürzer werden, als sie sein sollten.

Will man sich unmittelbar durch den Augenschein davon überzeugen, ob eine passende Uferlinie ungefähr innegehalten sei, so ist dieses besonders leicht, wenn die Buhnenköpfe gleich weit von einander entfernt sind. Wenn man alsdann auf einen derselben tritt, über den nächsten fortsieht und auf dem dritten die über beide erste gezogene Visirlinie durch eine eingesteckte Stange bezeichnen läfst, alsdann aber in gleicher Weise von der zweiten Buhne aus über den Kopf der dritte nach der vierten visirt und so fort, so müssen die Abstände der eingerichteten Stangen von den Köpfen gleich grofs sein, sobald die Streichlinie einen Kreisbogen bildet, stellt sie aber die hier empfohlne Curve dar, so müssen diese Abstände in beiden Schenkeln nach dem Scheitel hin regelmäfsig zunehmen.

Will man in dieser Weise die Lage der Buhnen vor einem convexen Ufer controliren, so visirt man vom ersten Buhnenkopfe nach dem dritten, und bezeichnet auf dem zwischenliegenden zweiten die Visirlinie, und so fort.

§. 29.
Buhnen-Systeme.

Die sämmtlichen bis zu derselben Streichlinie hinausgeführten Buhnen vor einem Ufer der zu corrigirenden Stromstrecke nennt man ein Buhnen-System. Zu solchem gehören aber häufig nicht nur Buhnen, sondern auch Uferdeckungen und Parallelwerke oder Flügel der Buhnen, jenachdem die Streichlinie sich mehr oder weniger von dem Ufer entfernt. Alle diese Werke müssen die vorher bestimmte Streichlinie begrenzen, welche das spätere Ufer bildet, wenn dazwischen Verlandungen durch Niederschläge oder durch unmittelbares Eintreiben von Sand und Kies erfolgt sind. Sobald dieses geschehn, sind nur noch die äufsern, den Strom berührenden Theile einem dauernden Angriff ausgesetzt, woher diese vorzugsweise einer soliden Construction bedürfen. Die Verlandung der Intervalle wird indessen vielfach durch äufsere Umstände, und namentlich durch die Unregelmäfsigkeit des Bettes verhindert, wozu noch kommt, dafs in manchen Stromstrecken nur wenig Material herabtritt, also schon aus diesem Grunde die weit vortretenden Werke lange Zeit hindurch vom Strom angegriffen werden und daher die nöthige Widerstandsfähigkeit haben müssen.

Ueber die Wirksamkeit der einzelnen Buhnen und die hieraus sich ergebende zweckmäfsige Anordnung derselben ist bereits §. 24. die Rede gewesen, es mufs aber noch ihre Verbindung zu einem ganzen System näher betrachtet werden.

In früherer Zeit war man der Ansicht, dafs die Entfernung der Einbaue nur durch die Länge derselben bedingt wird, und dafs jene nicht mehr als das Vier- bis Sechsfache von dieser betragen müsse. Die Wirksamkeit der Buhnen auf die gehörige Leitung des Stroms, sowie auch auf die Verlandung, hängt indessen davon ab, dafs der Strom sich nicht zwischen sie stark hineinwerfen darf, und hierbei ist ohne Zweifel die Breite des Stroms, demnächst aber auch seine Richtung gegen das zu verbauende Ufer von wesentlichem Einfluſs. Was den letzten Umstand betrifft, so kann man vor den convexen und selbst vor den geraden Ufern die Entfernung der Buhnen von einander bedeutend gröſser annehmen, als vor den con-

caven, weil das Wasser in Folge seines Beharrungsvermögens zwischen die letztern stärker hineingewiesen wird, als zwischen die erstern. Doch kommt es hierbei nicht allein auf das wirkliche Ufer oder die Begrenzung des eigentlichen Bettes an, vielmehr bedingen häufig die darin befindlichen Untiefen die Richtung des Stroms. So geschieht es nicht selten, dafs an einer Stelle des Buhnensystems der Strom stark eindringt, und man, um dieses zu verhindern, noch später Werke dazwischen legen mufs.

Bei kleinern Strömen, wie bei der Mosel, der Weser und andern, kann die Entfernung der Buhnen unter sich etwa drei Viertheile von der Breite des Strombettes betragen, bei dem Rhein dagegen unterstützen sie sich gegenseitig nur wenig, wenn ihr Abstand der halben Breite des Stroms gleichkommt, und es ist daher vortheilhafter sie nur in Abständen zu erbauen, welche den dritten Theil der Breite betragen. Diese Verhältnisse darf man indessen keineswegs als allgemein gültig ansehn, sie erleiden vielfache Modificationen, theils nach der Richtung der Ufer, theils aber auch nach der Länge der Buhnen. Sind diese nämlich sehr kurz, so mufs man sie näher zusammen legen, und wenn sie im Gegentheil sehr lang sind, so wird oft anfangs nur etwa eine um die andre erbaut, und erst später, nachdem zwischen ihnen eine starke Verlandung sich bereits erzeugt hat, werden die noch fehlenden ausgeführt. Der Bau der letztern wird dadurch zuweilen erleichtert, doch ist es andrerseits auch wieder nachtheilig, wenn zur Verbesserung einer unregelmäfsigen Stromstrecke eine Anzahl von Werken ausgeführt ist, ohne dafs dadurch die Schiffahrt gewonnen hat, dieselbe vielmehr in noch höherm Grade erschwert wird, indem der Strom die Schiffe in die Intervalle zwischen den Buhnen hineintreibt.

Silberschlag*) theilt eine Regel zur Bestimmung der Entfernung der Buhnen mit, welche auch von spätern Schriftstellern noch empfohlen ist, und häufig als sehr praktisch gerühmt wurde. Sie besteht darin, dafs man einen Körper vor der fertigen Buhne vorbeischwimmen läfst und zusieht, wo derselbe sich wieder dem Ufer nähert. An der Stelle, wo dieses geschieht, soll man die nächste Buhne erbauen. Das Mittel ist indessen theils an sich sehr unsicher,

*) Ausführliche Abhandlung der Hydrotechnik I. Theil §. 135,

und offenbar berücksichtigt man dabei nur die Verhältnisse, wie sie gerade in der Zeit des Baues stattfinden, nicht aber die Veränderungen, die in Folge der Bauten eintreten. Aufserdem ist es hiernach auch nicht möglich, schon vorher die Werke zu veranschlagen, und den dazu erforderlichen Materialbedarf zu kennen. Endlich bezieht sich diese Regel auch nicht auf Stromcorrection, sondern allein auf den Uferschutz.

Die Länge einer Buhne ergiebt sich unmittelbar aus der Entfernung der Streichlinie von dem Ufer, doch kommt hierbei die Frage in Betracht, ob man, wenn diese Entfernung sehr geringe ist, noch Buhnen bauen oder zu Parallelwerken übergehn soll, die zugleich Uferdeckungen sind. Letztere stellen sich gewöhnlich in der ersten Anlage kostbarer, als jene heraus, aber man darf nicht unbeachtet lassen, dafs sehr kurze Buhnen das Ufer wenig schützen, vielmehr gemeinhin dazwischen noch Einrisse sich bilden, selbst wenn sie in ziemlich geringem Abstande von einander ausgeführt werden, woher häufig die vollständige Uferdeckung dennoch nothwendig wird. Man glaubt zuweilen die Ufer zu schützen, indem man kurze Buhnen oder sogenannte Köpfe daraus vortreten läfst, doch wird hierdurch wenig erreicht, und in vielen Fällen sind solche sogar mehr schädlich, als nützlich gewesen, wegen der Wirbel, die sie veranlassen. Dazu kommt noch, dafs bei heftiger Strömung und in starken Concaven diese Köpfe der Schiffahrt gefährlich werden. Dagegen werden die Deckwerke, wenn sie einem starken Stromanfall ausgesetzt sind, und eine grofse Tiefe sich davor ausbildet, durch sogenannte Schwellen wesentlich geschützt, die wie Buhnen daraus vortreten, aber meist so tief liegen, dafs sie selbst beim kleinsten Wasserstande von den Schiffen nicht berührt werden. Man läfst sie auch sanft abfallen, damit sie die tiefe Rinne sperren, und nicht nur durch die Profil-Beschränkung das Wassers nach der andern Seite hinüber drängen, sondern auch zur Erhöhung des Bettes Veranlassung geben.

Die Höhe der Buhnen ist von wesentlichem Einfluſs auf ihre Wirksamkeit. Die Buhnen sollen das Bett und zugleich die Ufer ausbilden, das niedrige Wasser zusammenhalten, und selbst das Hochwasser in den eigentlichen Stromschlauch weisen. Erhalten die Buhnen, wie oft geschieht, eine ganz horizontale Krone, so ist es schwer, diese Wirkungen herbeizuführen. Man darf in

diesem Falle die Kronenhöhe nicht zu niedrig annehmen, da sie wenigstens über das niedrige Wasser treffen muſs. Diese Höhe erlaubt es oft nicht, die Breite des Stromes stark zu beschränken, weil dadurch bei einem Wasserstande, der etwas höher ist, als die Kronen der Buhnen, das Profil zu klein ausfallen würde. Es folgt hieraus, daſs Buhnen dieser Art bei kleinem Wasser dasselbe nicht gehörig zusammenhalten und gemeinhin eine unregelmäſsige Rinne zwischen sich bilden. Steigt das Wasser bis zu den Kronen oder etwas darüber, so bilden sich vor den Köpfen Auskolkungen und die Buhnen stauen in ihrer ganzen Länge das Wasser stark auf. Dieses stürzt heftig herüber und bildet unmittelbar hinter den Buhnen vertiefte Rinnen, die theils den Widerstrom befördern, theils aber auch für die Buhnen selbst gefährlich werden. Einige Ungleichmäſsigkeit in der Höhe der Krone verursacht aber einen verstärkten Angriff auf die tiefste Stelle, so daſs daselbst ein Durchbruch zu erwarten ist. Wenn endlich das Wasser höher steigt, so hört in der ganzen Länge der Buhne ihre Wirksamkeit gleichmässig auf, und die Strömung des Hochwassers wird durch andre zufällige Umstände bedingt, so daſs der wichtige Zweck, diese Strömung im eigentlichen Bette zu vereinigen, gleichfalls vereitelt wird.

Wenn man dagegen die bereits oben als besonders vortheilhaft bezeichnete Anordnung wählt, und die Buhne in stätiger Ansteigung, von der Sohle des Strombettes ab, nach dem Ufer sich erheben läſst, so gestalten sich die Verhältnisse sehr günstig. Je niedriger der Wasserstand ist, um so stärker wird alsdann die Breite beschränkt, letztere wird aber bei steigendem Wasser immer grösser, und jeder Theil der Krone wirkt nach und nach als Kopf der Buhne. Dabei können nirgend groſse Vertiefungen entstehn und eben so wenig ist irgend eine Stelle in dem abgeschloſsnen Theil des Strombettes für gröberen Kies ganz unzugänglich. Endlich nimmt auch beim Hochwasser die Tiefe nach dem Ufer hin regelmäſsig ab, und sonach concentrirt sich alsdann noch immer die stärkste Strömung in demselben Schlauche, worin das niedrigste Wasser flieſst, und eine starke Ablagerung des Materials wird hier unmöglich.

Man hat diese Anordnung nicht leicht vollständig zur Ausführung gebracht, wenn man gleich schon früher bei Anwendung von Stein-Constructionen den Köpfen in der Richtung der Buhnen drei-

bis vierfüfsige Böschungen zu geben und in derselben Richtung noch flache Steinschüttungen anzuschliefsen pflegte. Dieses war zum Beispiel mit sehr günstigem Erfolg an der Mosel und Saar geschehn. In neuerer Zeit hat man dasselbe Verfahren, wenn besonders heftige Angriffe zu erwarten sind, auch am Preufsischen Rhein eingeführt, wo freilich bei dem hohen Preise der Steine in den untern Stromstrecken statt dieser, Senkfaschinen verwendet werden mufsten. Aus letzteren werden mit mäfsigem Steinbewurf Schwellen gebildet, die von den Köpfen ab mit sechsfüfsiger Böschung in der Richtung der Buhnen vom niedrigsten Wasserstande bis zur Sohle des Flufsbettes herabgehn, wo aber eine besonders tiefe Rinne davor liegt, durchschneiden sie auch diese. Die hierdurch erreichten Erfolge, sowol in Bezug auf Regelung des Stroms, wie auch zur Sicherung der Werke entsprechen vollständig allen Erwartungen.

Der wesentliche Nutzen einer recht flachen Kopfböschung, die sich möglichst tief unter Wasser fortsetzt, besteht darin, dafs sie die Wirbel-Bildung verhindert. Das Wasser vor der Buhne kann an der stromabwärts gerichteten Bewegung nicht Theil nehmen, stehendes Wasser wird also von stark strömendem berührt, und die Bedingung der Wirbel-Bildung liegt vor (§. 21.). Wäre der Kopf gar nicht geböscht, fiele vielmehr steil ab, so würden heftige Wirbel sich zeigen, die auf grofse Vertiefung des Bettes an dieser Stelle hinwirkten. Bei der flachen Böschung entstehn freilich in den einzelnen horizontalen Wasserschichten auch Wirbel, die Achsen derselben sind aber versetzt, also die Bewegungen in den verschiedenen Schichten verschieden. Sie heben sich daher gegenseitig auf, und merkliche Wirbel mit ihren nachtheiligen Wirkungen treten nicht mehr ein.

Früher baute man die Buhnen mit horizontaler Krone oder doch nur mit sehr geringer Ansteigung, und aufserdem mit steil abfallenden, scharf markirten Köpfen. Man ist hierzu häufig durch die Wahl des Materials gezwungen, und namentlich, wenn der gewöhnliche Packwerksbau aus Faschinen und Erde bestehend, mit einer bepflanzten Krone in Anwendung kommt. Damit nämlich die Pflanzung gedeihen kann, darf die Krone weder vom Wasser zu lange bedeckt werden, noch auch sich bedeutend darüber erheben. Im ersten Falle erstickt das Weidenstrauch, im letztern fehlt es den Wurzeln an der erforderlichen Feuchtigkeit, das Strauch

verdorrt und der Körper der Buhne verrottet. Dazu kommt noch, dafs diese Bauart die Darstellung flacher Köpfe oder überhaupt flacher Dossirungen unmöglich macht. Die Faschinen erhalten nämlich nur durch die darauf geschüttete Erde eine gesicherte Lage, und die Erde wieder wird vom Strom fortgespült, wenn sie nicht durch Strauch bedeckt ist. Auf diese Weise fallen die Böschungen immer sehr steil aus, man kann ihnen nur etwa die einfache Anlage geben, oder sie unter 45 Graden gegen den Horizont neigen, und selbst eine solche Neigung pflegt sich namentlich vor dem Kopfe des Werks nicht zu halten. Die Höhe, in welcher das Weidenstrauch gedeiht, ist durch sehr enge Grenzen bezeichnet, die von den Wasserständen des Stroms abhängen. Eine Bedeckung des Strauches durch hohes Wasser, wenn es nur kurze Zeit dauert, und namentlich im Winter, ist demselben wenig nachtheilig, sobald aber die Blätter sich entfaltet haben, stirbt selbst bei kürzerer Ueberfluthung das Strauch ab. Andrerseits ist der lockre Körper des Packwerks Veranlassung, dafs bei kleinem Wasser eine vollständige Austrocknung des obern Theils erfolgt. Aus diesen Gründen ist man gezwungen, die Krone der Buhne zwischen 1 und 2 Fufs über das gewöhnliche niedrige Wasser zu legen, und sonach hat man keine Gelegenheit, ihr eine merkliche Ansteigung nach dem Ufer zu geben. Es tritt auch oft der ungünstige Umstand ein, dafs in der Nähe des Kopfes das Weidenstrauch viel kräftiger wächst, als an der Wurzel, und sonach am Kopfe auch mehr Sand und Erde aus dem Strom sich niederschlägt, als neben dem Ufer, wodurch nach und nach eine Erhöhung der Buhne an ihrem äufsern Ende erfolgt, welche ihren Durchbruch besorgen läfst. Die Unregelmäfsigkeiten im Anwachsen der Weiden, besonders auf dem an sich so losen Körper eines Packwerks, beeinträchtigen überhaupt die Dauer und Wirksamkeit der Buhnen aufserordentlich, und bedingen eine ununterbrochene Aufmerksamkeit und Nachhülfe. Insofern das Strauch zum Schutz der Krone unentbehrlich ist, kann man die Bepflanzung freilich nicht unterlassen, aber man darf nicht von der Ansicht ausgehn, als ob jedes kräftige Anwachsen des Strauches, wo dieses auch vorkommen möge, vortheilhaft sei. Wenn es stellenweise dem Strome den Zugang sperrt, so verstärkt es denselben auf den niedrigeren Theilen der Krone. Hier kann daher keine Sandablagerung erfolgen, und ein Durchbruch ist daselbst zu besorgen.

Viel vortheilhafter ist es, den Faschinenkörper, statt der Pflanzung, durch eine Steindecke zu sichern, welche die eingeführte Kronenhöhe normirt, und es zugleich möglich macht, derselben jede beliebige Höhe zu geben. Aufserdem widersteht eine solche auch dem Andrange eines heftigen Stromes und namentlich dem Eise sicherer, als der lose Packwerksbau. Die Kosten der ersten Anlage können dadurch allerdings in vielen Fällen aufserordentlich gesteigert werden, aber wenn man die Wirksamkeit der Werke und die Kosten der Reparaturen vergleicht, so wird man sich meist überzeugen, dafs es vortheilhafter gewesen wäre, sogleich die Steindecke gewählt zu haben.

Endlich mufs bei Gelegenheit der Kronenhöhe der Buhnen auch noch der bereits angeführte Umstand berührt werden, dafs dieselbe niemals die Uferhöhe übersteigen darf. Indem aber die Ausbildung der Ufer ein wesentlicher Zweck der Stromregulirung ist, so wird man seine Aufmerksamkeit auch darauf zu richten haben, besonders niedrige Uferstellen durch die Niederschläge aus dem Wasser zu erhöhen. Auf solchen sind daher Anlagen auszuführen, die zur Zeit des Hochwassers in ähnlicher Weise wie Buhnen wirken, wenn sie in ihrer Construction auch von diesen wesentlich verschieden sind, und meist nur in Pflanzungen bestehn. Besonders kommt es häufig vor, dafs ein starker Strom des Hochwassers den gekrümmten Lauf des eigentlichen Bettes ganz verläfst und auf kürzerem Wege das letzte weiter unterhalb wieder erreicht. Man mufs alsdann diesen Strom in der Art coupiren, dafs das zwischenliegende Terrain sich wenigstens theilweise erhöhen kann. Man darf gemeinhin nicht besorgen, dafs hierdurch die Vorfluth behindert werden möchte, denn die Ausbildung des eigentlichen Strombettes pflegt die Abführung des Wassers schon soweit zu erleichtern, dafs keine stärkern Anschwellungen, als früher, eintreten. Die Einführung des Hochwassers in das eigentliche Strombett sichert aber letzteres vor starken Verflachungen zur Zeit der Anschwellung.

Es verdient kaum erwähnt zu werden, dafs die Einbaue nach Maafsgabe des stärkern oder schwächern Stromanfalles, dem sie ausgesetzt sind, auch mehr oder minder fest ausgeführt werden müssen. Alle diejenigen Werke, welche vom Strom unmittelbar getroffen werden, oder in der Nähe desselben liegen, erfordern eine sehr solide Construction, andre dagegen und namentlich diejenigen, welche

auf geringer Wassertiefe und vor convexen Ufern erbaut werden, kann man schwächer halten und häufig genügt es, wenn sie nur aus doppelten oder auch wohl aus einfachen Flechtzäunen bestehn. Wenn sie auch zuweilen durchbrochen werden, so ist es beim Eintritt des niedrigen Wassers leicht, sie wieder herzustellen. Endlich braucht man diejenigen Werke, von welchen voraus zu sehn, dafs sie in Kurzem bedeutende Verlandungen hervorbringen werden, nicht besonders stark zu machen. Die Köpfe derselben bleiben freilich, wenn nicht zufällig die Sandfelder darüber hinaustreten, dauernd dem Angriff des Stroms ausgesetzt, und müssen daher solider construirt sein. So werden auch jene Flechtzäune oft mit gewöhnlichen Buhnenköpfen versehn.

Dafs man die Buhnen in früherer Zeit stromabwärts (declinant) zu richten pflegte, während sie gegenwärtig stromaufwärts (inclinant) gekehrt werden, ist bereits §. 24. erwähnt worden. Durch die letzte Anordnung wird die Verlandung der Intervalle, also die Ausbildung der Ufer wesentlich befördert, und zwar geschieht dieses aus zwei verschiedenen Gründen. Einmal wird das herabtreibende Material direct in die Intervalle hineingeführt, die in der Richtung des Stroms geöffnet sind, vorzugsweise zerstört aber das bei höhern Fluthen über die Buhnen tretende Wasser weniger die bereits aufgefangenen Verlandungen, wie auch die Ufer zwischen den Werken. Sobald nämlich die Buhne in mäfsiger Höhe überströmt wird, so geschieht dieses auf dem kürzesten Wege, also in normaler Richtung. Dieses Wasser bewegt sich also bei declinanten Buhnen nach dem Ufer hin, greift dasselbe an und mufs die Richtung sehr bedeutend verändern, um vor der folgenden Buhne abzufliefsen. Bei Ueberströmung der inclinanten Buhnen gestaltet sich diese Bewegung günstiger. Die Ufer werden dabei nicht direct getroffen und das überströmende Wasser findet leichter seinen Abflufs.

Andrerseits bildet sich an der stromaufwärts gekehrten Seite jeder Buhne, die gar nicht, oder nur mäfsig überfluthet wird, eine gewisse und oft eine sehr starke Strömung, die von der Wurzel nach dem Kopfe gerichtet ist, und beim Vorübergange an letzterm keineswegs plötzlich aufhört, sich vielmehr im freien Strom in der frühern Richtung noch fortsetzt, und in einem Bogen in die Richtung der allgemeinen Strömung übergeht. Man darf kaum anneh-

men, dafs diese Erscheinung im Allgemeinen nachtheilig sei, insofern dadurch der Strom von den Köpfen der Buhnen etwas entfernt, also die Auskolkungen vermindert werden, jedenfalls ist die Ablenkung aber um so stärker, je mehr die Werke stromauf gerichtet sind. Der Gang der Schiffe namentlich bei der Thalfahrt wird aber hierdurch wesentlich beeinflufst. Der aus dem Intervall austretende Strom entfernt sie von dem Buhnenkopfe, und wenn der Schiffer in sehr engem Fahrwasser solche Richtung verfolgt, dafs er bei regelmäfsiger Strömung vor dem Kopfe vorbeifahren würde, so kann es leicht geschehn, dafs die plötzlich vorbrechende Seitenströmung ihn auf das gegenüber liegende Ufer treibt. Dieses ist der Grund, weshalb die Schiffer gewöhnlich die inclinanten Buhnen als höchst gefährlich ansehn, wenn sie auch bald sich daran gewöhnen, die Schiffe so zu steuern, als ob sie auf die Buhnen aufsetzen wollten. Alsdann treibt sie der Seitenstrom so weit, dafs sie so eben die Köpfe umfahren.

Man ist gegenwärtig im Allgemeinen davon zurückgekommen, den Buhnen eine stark inclinante Richtung zu geben, und durchschnittlich werden sie so gelegt, dafs ihre Längen-Achsen mit den Tangenten der Streichlinien Winkel von 70 Graden bilden. Wollte man diesen Winkel bedeutend kleiner machen, so würde nicht nur die erwähnte Seitenströmung verstärkt, sondern auch die Länge des Werkes gröfser und sonach der Bau theurer werden. Die Richtung die man wählt, wird aber jedesmal gegen die Streichlinie, und nicht gegen das Ufer gemessen, weil letzteres vor der Verbauung gewöhnlich unregelmäfsig ausgebrochen ist, also die Lage der Buhnen, wenn man dieses berücksichtigen wollte, höchst unregelmäfsig ausfallen, auch die obigen Vortheile nicht erreicht werden würden.

Nicht selten versieht man die Buhnen mit Flügeln, die von den Köpfen aus in der Streichlinie stromauf- oder abwärts, zuweilen auch in beiden Richtungen geführt werden, wie Fig. 85. auf Taf. XI. zeigt. Zweck derselben ist, den Strom in die beabsichtigte Richtung zu weisen. Der aufwärts gekehrte Flügel ist indessen hierzu wohl wenig geeignet, da er der Seitenströmung, die sich vor der Buhne bildet, eine noch ungünstigere Richtung giebt, wogegen der abwärts gekehrte Flügel, besonders wenn er eine grössere Länge hat, und sonach als Parallelwerk wirken kann, bei hef-

tigem Stromanfall vortheilhaft ist. Bei ihm tritt jedoch wieder der ungünstige Umstand ein, dafs er das Eintreiben des Materials und sonach die Verlandung des anschliefsenden Intervalls erschwert. Die von Wiebeking ausgeführten Triangelwerke (§. 24.), von denen einige am Rhein, und zwar total zerstört, dennoch durch heftige Wirbel sich zu erkennen geben, werden heutiges Tages nicht mehr benutzt, seitdem keine flach diclinanten Buhnen mehr ausgeführt werden.

Die Kronenbreiten der Buhnen sowie auch die Seitenböschungen derselben sind theils von dem verwendeten Material und theils von der Stärke des Stroms, der sie trifft, sowie auch vom Angriff des Eises abhängig. Insofern der Kopf einer Buhne dauernd vom Strom getroffen wird, während die mit der Zeit eintretenden Verlandungen den hintern Theil vollständig sichern, giebt man dem erstern zuweilen eine gröfsere Kronenbreite, sowie auch flachere Seitenböschungen, wie Fig. 90. zeigt. Der Packwerksbau besitzt eine geringere Widerstandsfähigkeit als der Steinbau, daher mifst bei demselben die Kronenbreite nicht leicht weniger als 12 Fufs, während sie oft bis zu 20 Fufs angenommen wird, bei diesem dagegen meist nur 6 bis 8 Fufs und zuweilen sogar nur 4 Fufs. Wenn diese Verschiedenheit auch vorzugsweise durch das specifische Gewicht und die mehr oder weniger feste Lagerung der beiden Materiale veranlafst wird, so kommt dabei dennoch auch der Umstand in Betracht, dafs man dem Packwerk keine flachere Böschung als die einfüfsige geben kann, während die Steine, sowie die darüber ausgeführten Pflaster jede beliebige Neigung erhalten können. Letztere sind gemeinhin zweifüfsig, da jedoch die stromaufwärts gekehrte Böschung die Widerstandsfähigkeit des Werks in geringerm Maafse unterstützt, als die stromabwärts gerichtete, so geschieht es nicht selten, dafs man jene nur anderthalbfüfsig ausführt.

In Betreff dieser abgepflasterten Decken mufs noch darauf aufmerksam gemacht werden, dafs sie keine vortretenden scharfen Kanten erhalten dürfen, weil solche von dem aufschiebenden Eise leicht abgestofsen werden, und dadurch die schützende Decke unterbrochen wird. Man mufs also das Pflaster so ausführen, dafs es in sanften Krümmungen aus der Krone in beide Böschungen übergeht.

In Betreff der Ausführung von Buhnen-Systemen bleibt noch zu erwähnen, dafs man mit dem obersten Werke den Anfang macht, um den Strom in die beabsichtigte Richtung einzuleiten. Dieses geschieht auch allgemein, und oft ist die Ablenkung des Stroms beim Bau des nächst folgenden schon zu bemerken, so dafs derselbe dadurch einigermafsen erleichtert wird. Man darf indessen, wenn der obere Theil des Systems zur Ausführung gebracht ist, nicht erwarten, dafs dadurch der Stromschlauch schon sich von selbst in der beabsichtigten Weise verlegen und regelmäfsig umgestalten wird, so dafs es später nur noch geringer Nachhülfe bedarf. Eine solche Erwartung, die man allerdings vielfach hegt, ist indessen wohl niemals erfüllt worden. Im Gegentheil pflegt der Strom, wenn der Bau mit einer weit vortretenden Buhne abschliefst, sich scharf um diese in den noch bestehenden tiefen Schlauch zu werfen, und solcher unregelmäfsige Lauf bildet sich gemeinhin um so nachtheiliger aus, je länger die Vollendung des ganzen Baues hinausgeschoben wird. Dazu kommt, dafs diese mit der weitern Ausbildung jenes Laufes immer schwieriger wird. Es geschieht freilich häufig, dafs die Ausführung einer grofsen Strom-Correction wegen Mangel an Geldmitteln oder Menschenkräften und Materialien in einer Bau-Periode nicht beendigt werden kann, man mufs alsdann aber so bald wie möglich dieselbe fortsetzen und zum Schlufs bringen. Dieses ist um so dringender wegen der vielfachen und meist nicht unbegründeten Klagen, dafs grofse Summen verwendet wurden, ohne die Schiffahrt zu erleichtern.

Es ist noch nöthig, über die Anordnung einiger andern Buhnen einige Worte hinzuzufügen, da namentlich die gehörige Einleitung von Seitenzuflüssen oder die Spaltung in zwei Arme wesentliche Theile der Strom-Correction bilden und vielfach mit ausgedehnten Buhnen-Systemen in Verbindung gesetzt werden müssen. Wenn zwei Stromarme etwa unterhalb einer Insel sich wieder vereinigen, oder aber ein Flufs oder Bach seitwärts eintritt, so mufs man, wie schon §. 25. erwähnt wurde, dafür sorgen, dafs beide unter einem möglichst spitzen Winkel zusammentreffen. Besonders empfiehlt es sich aber, das untere Ende der Insel oder der Landzunge, die beide trennt, so umzuformen, dafs auf ihren beiden Seiten concave Ufer entstehn. Alsdann bilden sich vor diesen die tiefen Rinnen mit den stärksten Strömungen, die hin-

ter der scharf ausgezogenen Trennungs-Buhne unmittelbar zusammenfallen.

Nicht selten geschieht es, dafs in ein durch ein Buhnen-System zu verbauendes Ufer ein Bach mündet, der auch nach eingetretener Verlandung frei abfliefsen mufs. Die Anordnung bleibt auch in diesem Falle wesentlich dieselbe. Wenn es geschehn kann, bildet man wieder eine concave Streichlinie für die Buhnen des Hauptstroms, und legt eine der letztern unmittelbar oberhalb der Mündung des Baches. Dieser giebt man aber nicht mehr eine inclinante, sondern eine scharf declinante Richtung, und krümmt sie auch wohl in der Art, dafs sie vom frühern Ufer aus bis zur Streichlinie das obere Ufer des Baches bildet. Der Kopf dieser Buhne ist von denen der beiden nächsten Buhnen eben so weit entfernt, wie die andern Buhnen unter sich sind. Dabei geschieht es nicht selten, dafs die Wurzel der declinanten Buhne mit derjenigen der nächst vorhergehenden inclinanten zusammenfällt. Erstere bildet wieder das frühere Trennungswerk, hinter welchem die beiden Strömungen unter einem möglichst spitzen Winkel sich vereinigen. Die Eigenschaft der declinanten Buhnen, die Verlandung nicht zu befördern, ist aber in diesem Falle vortheilhaft, und das bei höhern Fluthen über sie tretende Wasser bildet unmittelbar dahinter eine tiefere Rinne, welche die Mündung des Baches offen erhält.

Bei Stromspaltungen pflegt die Spitze der Landzunge oder Insel, die beide Arme trennt, nicht leicht von einer tiefern Rinne getroffen und dadurch bei niedrigem und mittlerem Wasser angegriffen zu werden, wenn sie gleich beim Eisgange leidet. Gewöhnlich bilden sich vor solcher Spitze ausgedehnte Sandfelder, die beim kleinen Wasser sichtbar werden, und die Strömung in beiden Armen auf die der Insel gegenüber liegenden Ufer drängen. Um in solchem Falle den weitern Uferabbrüchen zu begegnen und die scharfe Krümmung des Fahrwassers zu beseitigen, bleibt nur übrig ein hinreichend weit vortretendes Separations-Werk herauszuführen, dieses in der Nähe der Insel in zwei Arme zu spalten, die in sanfter Krümmung in Uferdeckwerke übergehn. Zugleich mufs man durch Verbauung der gegenüber liegenden abbrechenden Ufer den Strom von den letztern ablenken. Gewöhnlich ist nur einer dieser Arme zum Haupt-Schiffahrtswege bestimmt, und wenn es darauf ankommt, demselben den gröfsten Theil der zufliefsenden

Wassermenge zuzuweisen, so darf dieses nicht allein dadurch geschehn, dafs man die Spitze des Separations-Werkes nach der gegenüber liegenden Seite neigt, weil alsdann der Erfolg sehr unsicher ist, und hierdurch sogar der Strom vorzugsweise in den Arm geleitet werden kann, welcher der schwächere sein soll (§. 25.). Man mufs vielmehr in solchem Falle schon für die nächst vorhergehende Stromstrecke solche Uferlinien wählen, die sich dem Hauptarm nach der Trennung möglichst anschliefsen, und zugleich dafür sorgen, dafs dieser Arm auch weiter abwärts geregelte Ufer und hinreichende Profilweite erhält. Aber auch in denjenigen Arm, der Nebenarm sein soll, darf das Wasser nicht mit plötzlicher starker Ablenkung gegen die frühere Richtung eintreten, vielmehr mufs seine geringere Capacität vorzugsweise durch stärkere Beschränkung veranlafst werden.

Welche nachtheilige Folgen die Abzweigung eines Nebenarmes unter starker Aenderung der Richtung des Stroms haben kann, zeigte sich sehr auffallend beim Bau der Ostbahn, als man auf diese Art die Nogat möglichst entlasten wollte, um den Bau der Marienburger Brücke zu erleichtern. Die Nogat, welche bisher zwar keineswegs besonders regelmäfsig, aber doch immer unter spitzem Winkel vor dem sehr langen Separations-Werke, die Montauer Spitze genannt, aus der Weichsel sich abzweigte, erhielt nunmehr weiter abwärts eine neue Mündung durch den Pieckeler Canal, der nahe rechtwinklig gegen die Weichsel gerichtet wurde. Gleich nach Ausführung dieses Canales und nach Schliefsung der alten Mündung trat im Frühjahr 1855 ein heftiger Eisgang ein, wobei die herabtreibenden Eisfelder und Schollen theils wegen der Enge des Canals, theils auch wegen ihres Beharrungs-Vermögens die scharfe Wendung nicht machen konnten. Sie verfolgten daher den Hauptstrom, während im Canal bei dem weit geöffneten Profil der untern Nogat ein sehr starkes Gefälle sich bildete, und ein grofser Theil des Wassers abgeführt wurde. Hierdurch wurde die Strömung in der Weichsel so gemäfsigt, dafs die ihr zugeführten Eismassen sich nur langsam bewegten und bei der Unregelmäfsigkeit des Bettes leicht aufgehalten wurden und zum Stillstande kamen. Es bildete sich nicht weit unterhalb der Trennung eine vollständige Eisversetzung, vor dieser erhob sich der Wasserstand und nunmehr ergofs sich die ganze Wassermasse durch jenen Canal,

dessen Ufer sie zugleich mit den darin erbauten Eisbrechern zerstörte. Die Nogat, welche gegen starke Ueberfüllung gesichert werden sollte, nahm dabei den ganzen Strom auf und wurde so reissend, dafs am Ausfluſs des Frischen Haffes in die Ostsee das Seegatt vor dem Pillauer Hafen eine Tiefe annahm, die es, soweit die Nachrichten reichen, noch nie gehabt hatte. *) Um ähnlichen Ereignissen vorzubeugen, welche unzweifelhaft die in den folgenden Jahren erbaute Brücke bei Marienburg in augenscheinliche Gefahr versetzt haben würden, sind in der Nogat ohnfern ihrer Abzweigung mehrere Coupirungen ausgeführt, welche gegenwärtig eine starke Durchströmung des Canals verhindern.

Nachdem vorstehend die Bauten und Anlagen beschrieben sind, die Behufs einer Stromregulirung zur Ausführung gebracht werden, bleibt noch übrig, von der Erhaltung und der spätern Vervollständigung derselben zu sprechen.

Vorzugsweise wird man grofse Aufmerksamkeit darauf verwenden müssen, dafs die Parallelwerke, wie auch die Buhnen nicht durchbrochen oder in den Wurzeln vom Ufer getrennt werden. Dieses ist namentlich zu besorgen, wenn letztere sehr niedrig und die Werke in ihren Kronen beinahe horizontal liegen. Es kann nicht fehlen, dafs einzelne Stellen derselben stärker versacken, als andre, und alsdann tritt das höhere Wasser hier zunächst über, und bei noch höhern Anschwellungen bildet sich daselbst die stärkste Ueberströmung, welche neue Angriffe, und endlich vielleicht einen vollständigen Durchbruch veranlafst. Andrerseits besitzt das Ufer, an welches das Werk sich anschliefst, in der Regel geringere Widerstandsfähigkeit als dieses, und es wird von einer starken Strömung getroffen, wenn die Wurzel des Werkes sich darüber erheben sollte. Hiernach ist es nöthig, dafs die Krone in ihrer ganzen Länge niedriger, als das anschliefsende Ufer gehalten werden mufs. Aufserdem mufs das Werk aber auch hinreichend weit in letzteres eingreifen, damit eine Trennung nicht leicht erfolgen kann. Gewöhnlich werden die Buhnen 1 bis 2 Ruthen weit in das Ufer hineingezogen, doch hängt dieses von der Beschaffenheit des letztern ab. Wenn der Boden aber auch keineswegs besonders locker ist,

*) Im dritten Theile dieses Handbuches §. 53. ist dieses näher nachgewiesen.

so pflegt er dennoch unmittelbar oberhalb und noch mehr unterhalb der Buhne angegriffen zu werden, wodurch leicht eine Hinterspülung veranlafst werden kann. Aus diesem Grunde ist man gemeinhin gezwungen, die Wurzeln der Werke mit Uferdeckungen in Verbindung zu setzen, die an beiden Seiten einige Ruthen weit in Bogenform sich hinziehn, wie Fig. 90. zeigt.

Es darf kaum erwähnt werden, wie wichtig es ist, den Durchbruch eines solchen Baues oder seine Hinterspülung zu verhindern. Die Strömung, die sich alsdann bildet, setzt sich leicht mit dem durchbauten tiefen Schlauch des frühern Strombettes in Verbindung, und die Rinne erweitert sich schnell, so dafs der vordere Theil der Buhne nunmehr als eine Insel oder auch wohl als ein Steinriff zwischen zwei Stromarmen liegen bleibt, der nicht mehr auf die Ausbildung des beabsichtigten Fahrwassers hinwirken kann, vielmehr die Regulirung der Strecke vollständig aufhebt. Aus diesem Grunde mufs man nach jedem Hochwasser die Werke sorgfältig untersuchen, und alle Vertiefungen, die sich in der Krone oder hinter der Wurzel zeigen, ausgleichen.

Demnächst ist darauf zu achten, dafs die Buhnen ihre ursprüngliche Länge behalten und ihre Köpfe nicht hinter die gewählte Streichlinie zurücktreten. Sowol beim Packwerks-, wie auch beim Massivbau sind vorzugsweise die Köpfe starken Beschädigungen ausgesetzt. Vielfache Reparaturen werden daher hier nothwendig, und oft sind sie so zerstört, dafs ihre ursprüngliche Länge sich nicht mehr mit Sicherheit erkennen läfst. Zu diesem Zweck mufs man eine feste und leicht zu erkennende Marke ohnfern der Wurzel im Ufer anbringen, also etwa einen wenig vortretenden Pfahl hier eintreiben, von welchem ab die Entfernung bis zum Kopf gemessen wird, und dieses Maafs ist bei jeder Reparatur des letztern genau zu beachten.

Wenn man auch bei Aufstellung des Projects zu einer Stromregulirung die Buhnen in solchen gegenseitigen Abstand legt, der den localen Verhältnissen im Allgemeinen entspricht, so ereignet es sich doch nicht selten, dafs durch zufällige Umstände veranlafst, der Strom mit Heftigkeit in eines der Intervalle hineintritt, und dadurch die regelmäfsige Ausbildung des Fahrwassers verhindert. In solchem Falle bleibt nur übrig, noch ein Zwischenwerk in dieses Intervall zu legen, wenn man nicht etwa durch einen langen Flügel,

der ein Parallelwerk bildet, unmittelbar dem Strom die Richtung anweisen will. Letzteres ist indessen gemeinhin mit noch gröfsern Kosten verbunden, auch wird dadurch die Verlandung zwischen den Buhnen behindert.

Wenn die in die Intervalle der Buhnen eintretende Strömung nur mäfsig, aber doch von der Art ist, dafs sie das Niedersinken der im Grunde treibenden oder im Wasser schwebenden Sinkstoffe verhindert, so genügen zur Schwächung derselben schon leichtere Werke oder sogenannte Schlickfänge. Dieselben sind zu gleichem Zweck von grofser Wirksamkeit, sobald Verlandungen oder Verflachungen in den Intervallen sich stellenweise zeigen. Namentlich dienen sie zur Unterbrechung der Widerströme, die alsdann vielfach noch sehr auffallend sich zu erkennen geben. Es empfiehlt sich aber unbedingt, solche Hülfswerke nicht unmittelbar nach dem Bau der eigentlichen Buhnen zur Ausführung zu bringen, vielmehr dieses erst nach einigen Jahren zu thun, weil alsdann ihre passende Anordnung nach den inzwischen erfolgten Verflachungen sich sicherer beurtheilen läfst, auch ihre Zerstörung weniger zu besorgen ist.

Sobald die Tiefen soweit ausgefüllt sind, dafs beim gewöhnlichen niedrigen Wasser einzelne Flächen vortreten, so pflegt man dieselben mit Weidenstecklingen zu bepflanzen. Wenn solche auch unbedingt die weitern Verlandungen wesentlich befördern, so ist dennoch hierbei grofse Vorsicht und Ueberlegung geboten. Der von manchen Strombaumeistern und noch mehr von den Förstern befolgte Grundsatz, jede Alluvion, die sich irgendwo zeigt, sogleich durch Bepflanzung festzulegen, ist durchaus verwerflich.

Die vollständige und regelmäfsige Ausbildung der Ufer ist das Ziel, welches man durch Strom-Correctionen zu erreichen sich bemühn mufs. Nur hierdurch werden die ausgeführten Strombauten, mit Ausnahme der vortretenden Köpfe, den fernern Angriffen entzogen und die kostspielige Unterhaltung derselben hört grofsentheils ganz auf. Andrerseits wird auch nur in diesem Falle die ganze, dem Strom abgewonnene Fläche nutzbar. Endlich leidet dabei auch nicht die Vorfluth, insofern die Wasserfläche bei zunehmender Anschwellung sich immer weiter ausbreitet und nicht etwa einzelne besonders hohe Stellen in dem verbauten Theile des Bettes eine Spaltung verursachen, oder das Durchfluſs-Profil in nachtheiliger Weise beschränken.

Wo Verlandungen besonders auffallend sich zeigen, werden diese durch besondre locale Umstände veranlafst, man braucht sie also hier nicht noch künstlich zu befördern, man mufs vielmehr auf diejenigen Stellen aufmerksam sein, an welchen die Tiefe sich nicht vermindert. Die Ursache, weshalb in ihnen keine erdigen Stoffe sich ablagern, beruht vielfach darauf, dafs die Strömungen dieses verhindern. In solchem Falle müssen letztere, wie bereits erwähnt, unterbrochen werden. Oft fehlen aber auch die Niederschläge, weil das hinzutretende Wasser ganz rein ist, und weder Sand noch Erde mit sich führt. Beim Durchfliefsen durch ein ausgedehntes und dichtes Weidengebüsch vermindert sich die Geschwindigkeit so sehr, dafs diese Stoffe vollständig niederschlagen, also die bepflanzten Stellen aufs Neue sich erhöhen, während die dahinter liegenden noch mit Wasser gefüllten tiefen Flächen gar nicht aufwachsen können. Dieses zeigt sich häufig, wenn man ohne Rücksicht auf gleichmäfsige Erhöhung des Bodens in ausgedehnten Flächen Bepflanzungen vornimmt, so oft sich dazu Gelegenheit bietet. An manchen unserer Ströme bemerkt man gröfsere Weiden-Culturen, die vom Wasser aus einen höchst befriedigenden Anblick gewähren, in denen aber, wenn man sie durchgeht, grofse Wasserflächen oft von bedeutender Tiefe angetroffen werden, welche die Reste alter Neben-Arme sind. Solche Vernachlässigung ist aber nicht nur in sofern nachtheilig, als dadurch ein bedeutendes Terrain der Nutzung ganz entzogen bleibt, sondern die künstlich gebildeten Höhen ziehn sich auch vom Bette bis zum höhern Ufer hin und beschränken wesentlich das Fluthprofil. An der Weser liefs ich in solchem Falle einen neuen Zufluls und Abfluls von diesen Seen nach dem Strom eröffnen, indem nicht nur das Weidengebüsch in angemefsner Breite beseitigt, sondern so weit es nöthig war, auch die Sandablagerungen durchstochen wurden. Indem nunmehr das Hochwasser zugleich mit den Stoffen, die es mit sich führt, in die Vertiefungen treten, und wegen des erweiterten Profils diese Stoffe niederschlagen, alsdann aber gereinigt abfliefsen konnte, so trat die beabsichtigte Erhöhung des Bodens bald sehr merklich ein.

Man mufs demnach alle Pflanzungen unmittelbar neben dem neuen Strombett vermeiden, so lange hinter denselben noch nicht genugsam erhöhte Flächen sich befinden, und im Allgemeinen sind die Pflanzungen von dem Ufer aus nach dem Strom hin nach und

nach weiter auszudehnen. Es ist eine gewöhnliche Erscheinung, dafs die nächste Einwirkung der Buhnen auf Verlandung sich in der Bildung einer schmalen Zunge zu erkennen giebt, die sich vom Kopfe der Buhne stromabwärts zur Seite der neu gebildeten tiefern Rinne hinzieht. Indem letztere die stärkste Strömung aufnimmt, so treibt der Sand und Kies vorzugsweise auf diesen daneben liegenden schmalen Rücken, so dafs er oft über das Sommerwasser tritt. Wenn man denselben bepflanzt, so ist die Unregelmäfsigkeit der Uferbildung schon eingeleitet. Die Pflanzung veranlafst neue Ablagerungen, und indem sie hier üppig gedeiht und sich ausdehnt, so nimmt der dahinter liegende Theil des Buhnen-Intervalls nur noch Rückstau-Wasser auf, das keinen Sand mit sich führt, und bald ist das Intervall, ohne dafs seine Tiefe merklich vermindert wäre, rings mit Weidengebüsch umschlossen.

Häufig geschieht es, dafs die Kreisströmung in einem Intervall Verlandungen in der Mitte desselben erzeugt. Auch diese dürfen nicht bepflanzt werden, vielmehr mufs man sie durch niedrige Schlickfänge mit dem dahinter liegenden Ufer verbinden, um zunächst den hintern Theil des Intervalls zur Verlandung zu bringen.

Auch das Weidengebüsch auf den Buhnen wirkt höchst nachtheilig auf die Ausbildung der Ufer, und wenn dasselbe auch durch das Wurzelgeflecht eine gröfsere Festigkeit der Krone giebt, so hat es doch, wie bereits erwähnt, zum Durchbruch des ganzen Werkes oft die nächste Veranlassung gegeben.

Wenn nach vorstehenden Andeutungen die Weidenpflanzungen vorsichtig ausgeführt werden, und auch ferner dafür gesorgt wird, dafs sie die regelmäfsige Uferbildung nicht verhindern, so pflegen diese Culturen nicht nur in Bezug auf die Gewinnung von Faschinen zu fernern Strombauten sehr vortheilhaft zu sein, sondern auch einen namhaften Ertrag zu geben, wenn man die Reiser an Korbmacher verkauft. Bei der fortschreitenden Erhöhung der neuen Ufer tritt indessen ein Zeitpunkt ein, wo der üppige Wachsthum der Weiden aufhört, alsdann hat aber das Terrain diejenige Höhe erreicht, in der es als Wiese benutzt werden kann.

§. 30.
Starke Gefälle.

Bisher war von der Regulirung solcher Ströme die Rede, deren Gefälle nur mäfsig ist, bei welchen also jede zu verbessernde Stelle unabhängig von der oberhalb belegenen behandelt werden kann, und das ziemlich gleichmäfsig vertheilte Gefälle sich hierdurch nicht wesentlich verändert. Anders verhält es sich mit Strömen und Flüssen, die stärkeres Gefälle haben, das, wie immer geschieht, streckenweise besonders grofs ist, oder an einzelnen Punkten sich concentrirt, während dazwischen tiefere und weitere Strecken liegen, in welchen der Abhang wie die Strömung nur mäfsig sind. Zum Entstehn jener starken Abhänge oder Stromschnellen geben häufig Felsbänke Veranlassung, welche das Bett durchsetzen, doch rühren sie nicht selten auch von dem groben Geschiebe her, das ein seitwärts eintretender Gebirgsbach zuführt. Wenn man in dem einen, wie im andern Fall durch Sprengen und Räumen die nöthige Fahrtiefe darstellen und zugleich die Geschwindigkeit mäfsigen wollte, so würde in Stromstrecken, deren Gefälle im Allgemeinen schon bedeutend ist, der Wasserspiegel oberhalb sich so sehr senken, dafs daselbst wieder neue Hindernisse die Schiffahrt erschweren oder unmöglich machen. Es bleibt daher nur übrig, das an solcher Stelle vorhandene starke Gefälle beizubehalten und den Uebergang der Schiffe in andrer Art zu ermöglichen. Hierzu dienen vorzugsweise Schiffsschleusen, doch sind solche nicht nur in der Anlage, Unterhaltung und Bedienung kostbar, sondern sie erfordern auch die Erbauung von Wehren, und letztere beeinträchtigen, wenn sie auch mit Freiarchen versehn sind, mehr oder weniger die Vorfluth.

Vielfach existiren bereits Stauanlagen, und da solche zum Betriebe industrieller Etablissements erbaut sind, so darf man daneben keinen freien Abfluſs eröffnen, der von Schiffen befahren werden könnte. Wo jedoch der Fluſs in seinem natürlichen Zustande sich befindet, tritt die Frage auf, ob die Schleusenanlage nothwendig ist, oder ob die Stromschnelle vielleicht durch Verlängerung gemäfsigt und durch feste Ufer so begrenzt werden kann, dafs die Schiffe

darin nicht nur die nöthige Tiefe finden, sondern sowol ab- wie aufwärts sicher und ohne zu grofse Anstrengung hindurch geführt werden können.

In dieser Beziehung ist zunächst zu untersuchen, welches relative Gefälle als Grenze der Schiffbarkeit angesehn werden mufs. Auf Flüssen, die noch nicht regulirt waren, habe ich mehrfach gefunden, dafs die Schiffahrt keine Unterbrechung fand, wenn das relative Gefälle auch stellenweise 1 : 600 und selbst 1 : 500 war. Es mufs alsdann aber die Fahrrinne sehr gerade sein, damit das Schiff beim Herabtreiben leicht darin gehalten werden kann, und bei der Bergfahrt tritt die Nothwendigkeit ein, die Schiffszüge zu trennen und die Fahrzeuge einzeln mittelst des ganzen Vorspanns hindurchzuziehn, oder wenn die Schiffe überhaupt schon einzeln fahren, so wartet das ankommende Schiff unterhalb der Stromschnelle auf ein folgendes, um mittelst des doppelten Vorspanns heraufgezogen zu werden, während das andre auf gleiche Weise ihm später folgt. Ohne Zweifel verursacht dieses einen Aufenthalt von mehrern Stunden, und derselbe kann sich noch länger ausdehnen, wenn das zweite Schiff nicht sobald nachfolgt. Bei der Regulirung eines Stroms müssen solche ungünstige Verhältnisse wo möglich beseitigt werden. Bei einem relativen Gefälle von 1 : 800 genügt schon der einfache Vorspann, doch darf die Stromschnelle nicht zu lang sein, weil die Pferde sonst ermüden. Auf eine geringe Länge veranlafst indessen bei dieser Neigung der Zug noch keine besondre Uebequemlichkeit, und es ist nur Bedingung, dafs überall die erforderliche Wassertiefe vorhanden, und das Fahrwasser nicht scharf gekrümmt und vergleichungsweise zum Querschnitt des Schiffes hinreichend grofses Profil habe, damit das Schiff nicht etwa, einem Kolben ähnlich, das Profil sperrt, in welchem Falle das Aufgehn übermäfsig erschwert wird.

Wenn man bei Aufstellung eines solchen Projects die erforderliche Breite für das Fahrwasser berechnet, so ist die mittlere Tiefe, das relative Gefälle und die Wassermenge zur Zeit des kleinsten Wassers bekannt, es fragt sich aber, ob bei einer so starken Strömung noch die Bewegung des Wassers als gleichförmig anzusehn ist, und ob man nicht vielmehr eine starke Beschleunigung dafür annehmen mufs. Eine solche würde sich durch eine Verkleinerung der Profile oder Verminderung der Tiefe im untern Theil

der Stromschnelle zu erkennen geben, die ich jedoch in Fällen dieser Art nie bemerkt habe. Es steht sonach der Anwendung des in §. 18. entwickelten allgemeinen Gesetzes über die gleichförmige Bewegung des Wassers in Strömen auf solchen Stromschnellen nichts im Wege.

Die Einschränkung kann entweder durch Parallelwerke oder durch Einbaue bewirkt werden. Die erstern sind für den Betrieb der Schiffahrt vortheilhafter, als die letztern, und dieses nicht nur deshalb, weil sie beim Herabgehn das Schiff nicht der Gefahr aussetzen, auf die Köpfe der Buhnen aufzustofsen, sondern weil sie auch das Gefälle gleichmäfsiger vertheilen und die Bildung einzelner Wasserstürze verhindern. Hierbei kommt noch ein wesentlicher Umstand in Betracht, der einen entschiedenen Vorzug der Parallelwerke bedingt. Die Buhnen, welche in diesem Falle Rauschbuhnen sein würden, müssen nämlich auf beiden Seiten einander gegenüberstehn, weil sonst ein unregelmäfsiges Fahrwasser gebildet wird, welches um die Köpfe der Werke herum sich von einer Seite nach der andern schlängelt. Es kann allerdings der Fall vorkommen, dafs das Fahrwasser längs dem einen Ufer sich hinzieht, und die Buhnen nur auf der andern Seite liegen. Die Schwierigkeit, von der hier die Rede ist, wird dadurch aber keineswegs beseitigt, indem das starke Gefälle sich wieder vor den Köpfen der Buhnen concentrirt. Wenn dieselben den beabsichtigten Effect herbeiführen sollen, so müssen sie soweit in den Strom treten, dafs das offne Profil zwischen ihnen schon durch den eintauchenden Theil des Schiffes in merklicher Weise vermindert wird. Wenn also ein Schiff, welches stromaufwärts gezogen wird, sich zwischen den Rauschbuhnen befindet, so wird es vor den Köpfen derselben das Profil beschränken, und dadurch entsteht ein vermehrter Stau vor dem Schiffe. So bemerkte man an der Lippe in der Nähe der Ruschenburg ohnfern Haltern, wo Anlagen dieser Art ausgeführt waren, dafs der Wasserspiegel beim Durchgange der stromauf gezogenen Schiffe, vor den nächsten Buhnen sich jedesmal etwa um 3 Zoll hob. Sobald das Schiff aber das verengte Profil verlassen hatte und die Oeffnung wieder frei wurde, flofs sogleich das Wasser stärker ab und der Wasserspiegel senkte sich. Das Schiff gewinnt also nicht die ganze Höhe, auf welche es beim Vorbeigehn vor den Buhnenköpfen gehoben werden mufs, sondern es fällt unmittelbar darauf

wieder herab, und diese verlorne Steigung, welche einen übermäs-sigen Kraftaufwand der Leinpferde in Anspruch nimmt, wiederholt sich vor allen Buhnenköpfen. Bei Parallelwerken bildet sich freilich auch an derjenigen Stelle, wo das Schiff sich gerade befindet, ein stärkeres Gefälle, indem das Schiff das Wasser vor sich aufhält, nichts desto weniger kommen hier keine verlornen Steigungen vor, und die Höhe, die das Schiff gewonnen hat, behält es auch. Aufserdem ist das Gefälle zur Seite eines Parallelwerks nicht auf einzelne Stellen concentrirt, und sonach fehlt hier der übermäfsige Widerstand, den das Schiff vor den Köpfen der Rauschbuhnen erleidet.

Liegt die Stromschnelle in einer gekrümmten Strecke, so mufs man mit Vermeidung aller scharfen Biegungen an der concaven Seite entweder eine Uferdeckung, oder ein Parallelwerk ausführen, weil hier die Buhnenköpfe für die Schiffahrt zu gefährlich sein würden. Bei einem niedrigen Wasserstande, der die Krone des Parallelwerks nicht erreicht, fahren die Schiffe vor demselben, wenn es auch mit Steinen gedeckt ist, sicher herab, ohne aufgetrieben zu werden. Bei höherm Wasserstande, wobei der Strom das Werk überfluthet, und das Schiff, indem es der Richtung seiner Bewegung folgt, darauf hingetrieben wird, würde die Gefahr sehr grofs werden, wenn nicht in diesem Falle schon eine starke Ausgleichung des Gefälles statt fände, wodurch die Strömung, wenn sie auch im Allgemeinen zunimmt, doch gerade in den Stromschnellen sich nicht in gleichem Maafse zu vergröfsern pflegt, oft sogar geringer wird. In der nächstfolgenden Strecke, also unmittelbar unterhalb der Stromschnelle, hebt sich nämlich der Wasserspiegel wegen der gröfsern Wassermenge, oberhalb findet diese Erhebung in geringerm Maafse statt, weil der Abfluſs daselbst durch das stärkere Gefälle erleichtert wird. Die Niveaudifferenz zwischen Ober- und Unterwasser wird daher hier, wie bei einem Wehr, um so geringer, je stärker der Strom anschwillt. In gleichem Maafse vermindert sich auch das Gefälle, wodurch wieder die Geschwindigkeit bedingt ist. Sonach gewährt ein Parallelwerk vor dem concaven Ufer der Stromschnelle bei kleinem Wasser der Schiffahrt volle Sicherheit, und pflegt auch bei höherm Wasser nicht gefährlich zu werden. Bei dieser Anordnung kommt aber noch der günstige Umstand in Betracht, dafs in den Flufskrümmen die Geschwindigkeit unter übri-

gens gleichen Umständen geringer bleibt, als in geraden Strecken, und sonach zur Zeit der stärksten Strömung, also bei kleinem Wasser das Herauffahren erleichtert wird. Der Leinpfad mufs aber auf dem concaven Ufer liegen, damit die Leine möglichst in der Richtung des Schiffes, und nicht etwa gegen diese sehr schräge gespannt ist. Diesen Vortheil darf man indessen nicht durch scharfe Krümmungen zu erreichen suchen, weil alsdann die Gefahr zu grofs würde.

Ueber die Anordnung der Parallelwerke ist schon früher das Nöthige mitgetheilt worden. Von den Rauschbuhnen gilt ungefähr dasselbe, was über die Buhnen im Allgemeinen gesagt ist. Bei beiden mufs man bemüht sein, die verbauten Theile des Strombettes zur Verlandung zu bringen, und in dieser Beziehung nicht nur die Werke selbst, sondern auch die spätern Anlagen so anordnen, dafs dieser Zweck möglichst vollständig erreicht wird. Hat man aber Parallelwerke zur Einfassung der Stromschnellen gewählt, so darf man die Verlandung der von denselben umschlofsnen Räume nicht leicht erwarten, da zur Zeit der hohen Anschwellungen auch hinter ihnen heftige Strömungen sich bilden, welche die Ablagerung feinerer Stoffe verhindern, während die gröbsten Geschiebe nicht über die Werke getrieben werden. Es empfiehlt sich daher, jene Räume sogleich vollständig zu verfüllen, wozu das reichlich vorhandene Steinmaterial meist Gelegenheit bietet. Pflanzungen pflegen aber in solchen Fällen keinen Bestand zu haben, weil zu heftige Strömungen darüber gehn.

Um ein Beispiel solcher Anlagen zu nennen, erwähne ich der Stromschnelle in der Saar am Steinbach oberhalb Metlach, wo die Verbauung noch dadurch erschwert wurde, dafs das Thal überaus enge ist, und sonach die Strömung zur Zeit der Anschwellungen keineswegs sich vermindert, vielmehr alsdann noch reifsender wird, so dafs grofse Felsblöcke dabei in Bewegung kommen. Nichts desto weniger leisteten doch sowol die rechtseitigen Buhnen, wie auch das auf der linken concaven Seite ausgeführte Parallelwerk hinreichenden Widerstand, und zeigten in den ersten Jahren nach Ablauf der Fluthen nur mäfsige Beschädigungen. Bei Regulirung der Mosel in dem frühern französischen Theil derselben hatte man die durch Parallelwerke abgeschlofsnen Arme und Erweiterungen des Bettes

nicht verfüllt, und wie schon §. 23. erwähnt ist, waren dabei Zerstörungen vorgekommen, welche die Schiffahrt unterbrachen.

Die vorstehend beschriebenen Ausführungen zur Ueberwindung starker Gefälle sind noch eigentliche Stromregulirungen, anders verhält es sich, wenn die Concentrirung des Gefälles durch Wehranlagen erfolgt. Von den Methoden, wodurch alsdann die Schiffe aus einem Niveau in das andre versetzt werden, soll später ausführlich die Rede sein, hier mag nur erwähnt werden, dafs dieses in früherer Zeit nicht selten durch sogenannte Schiffsdurchlässe geschah, wovon es auch noch gegenwärtig einzelne Beispiele giebt. Dabei wird das Schiff in einer hölzernen Rinne, deren Breite nur wenig gröfser, als die des Schiffes ist, herabgelassen, und darin auch wieder heraufgezogen. Letzteres wird einigermaafsen dadurch erleichtert, dafs in solchem Falle die Frachten nur stromabwärts sich bewegen, also nur leere Schiffe die Rinne ansteigen. Bei dem berüchtigten Traunfall, der wohl das interessanteste Beispiel eines solchen Schiffsdurchlasses bildet, hat sogar in neuerer Zeit das Aufziehn der Schiffe ganz aufgehört, indem diese nur eine einzige Fahrt machen, und beim Eintritt der Traun in die Donau zerschlagen werden. Durch solche Schiffsdurchlässe strömt indessen keineswegs das Wasser ununterbrochen hindurch, vielmehr werden die Schütze am obern Ende derselben nur gezogen, wenn ein Durchgang erfolgen soll.

Bei geringem Gefälle benutzte man in früherer Zeit auch wohl die Stauschleusen, durch welche oberhalb ein höherer Wasserstand gehalten wurde, den man aber abliefs, sobald Schiffe sie passiren sollten.

Das gewöhnliche und bequemste Mittel, um Schiffe aus einem tiefern Niveau in ein höheres zu heben, oder um sie von dem letztern auf das erstere herabzulassen, bieten die Schiffs- oder Kammerschleusen, während bei sehr grofsen Niveau-Differenzen zu demselben Zweck auch wohl geneigte Ebenen angelegt werden. Auf letztern gleiten die Schiffe nicht unmittelbar auf und ab (was freilich zum Ueberführen kleiner Fahrzeuge auch zuweilen vorkommt), sondern grofse Wagen, die auf Schienen laufen, werden unter die noch schwimmenden Schiffe herabgelassen, und wenn diese sich darauf gestellt haben, über den Scheitel fort in das höhere oder tiefere Niveau geführt.

Wenn diese verschiedenen Anlagen neben einem Strom oder Flufs sich befinden, also zur Ueberwindung des Gefälles in demselben dienen, so pflegt das Niveau der obern Strecke durch ein Wehr gesichert zu sein. Ein solches hemmt aber den Abfluſs des Hochwassers, wenn sich auch Freiarchen daneben befinden, und in vielen Fällen muſs mit Rücksicht auf die oberhalb belegenen Ländereien oder Ortschaften jede und selbst die geringste noch höhere Anschwellung der Fluthen sorgfältig vermieden werden. In dieser Beziehung sind die in neurer Zeit vielfach ausgeführten beweglichen Wehre oder Nadelwehre von grofser Bedeutung, die beim Eintreten der Fluth in der kürzesten Zeit sich vollständig beseitigen, und nach Ablauf derselben sehr schnell wieder aufrichten lassen.

Siebenter Abschnitt.

Ausführung der Strombauten.

§. 31.

Stein-Constructionen.

Die Strombauten sind starken Angriffen ausgesetzt und werden vielfach auch durch Vertiefungen des Grundes bedroht, welche neben ihnen und besonders vor den vorspringenden Köpfen sich leicht bilden. Eine vollständig gesicherte Fundirung, wie bei andern Bauten, kann man hier nicht anwenden, weil eine solche gar zu kostbar ausfallen würde. Es bleibt also nichts übrig, als die Construction so zu wählen, dafs das Werk sich theilweise senken kann, ohne in seinem Zusammenhange gelöst oder gebrochen zu werden. Fest verbundene Holz-Constructionen und ebenso auch vollständiges Mauerwerk sind hiernach bei Stromregulirungen in der Regel nicht anwendbar. Dagegen empfiehlt sich solches Material, welches in grofsen Massen noch biegsam bleibt und auf jede unregelmäfsige Oberfläche sich schliefsend auflegt. In dieser Beziehung zeichnet sich das Strauch besonders aus. Die einzelnen Reiser legen sich in einander und bilden dadurch einige Verbindung, die noch durch andre Mittel so verstärkt werden kann, dafs es schwer ist, einzelne Theile davon loszureifsen. Nichts desto weniger behält der ganze Körper seine Biegsamkeit, und wo unter ihm ein hohler Raum entsteht, sinkt er herab. Dadurch werden Unterspülungen verhindert, welche sehr nachtheilige Folgen haben würden.

Etwas Aehnliches läfst sich auch durch Stein-Schüttung erreichen. Der Unterschied einer solchen gegen den aus Strauch gebildeten Körper beruht darin, dafs die Steine lose über und neben einander liegen und keine Verbindung zwischen ihnen besteht. Sie werden dadurch der Gefahr ausgesetzt, vom Strom fortgetrieben zu werden, aber es ist schon wiederholentlich darauf hingewiesen,

dafs ein Stein um so mehr Widerstand dem Strome entgegensetzt, je gröfser er ist, denn der Widerstand ist seinem Gewichte oder der dritten Potenz des Durchmessers proportial, der Druck, den er vom strömenden Wasser erfährt, aber nur seinem gröfsten Querschnitt, oder der zweiten Potenz des Durchmessers. Man kann also dem Mangel an Festigkeit, der aus der fehlenden Verbindung der einzelnen Theile entspringt, dadurch entgegenwirken, dafs man grofse Steine wählt, oder wenn solche nicht zu haben sind, lassen sich auch kleinere Steine durch eine gemeinsame Umschliessung zu gröfsern Massen verbinden. Ein andres Mittel zur Vermehrung des Widerstandes besteht darin, dafs man Steine von besonders grofsem specifischen Gewicht wählt. In dieser Beziehung zeichnet sich der Basalt vor Sandstein, Thonschiefer und andern vortheilhaft aus.

In allen diesen Fällen liegen die einzelnen Steine oder deren Verbindungen nur lose aufeinander, sobald daher eine Vertiefung unter ihnen eintritt, oder wegen der starken Vertiefung neben der Basis des Werkes sie nicht gehörig unterstützt sind, so sinken sie von selbst herab und nehmen wieder eine gesicherte Lage an. Eine Unterspülung ist daher auch bei ihnen unmöglich. Wenn man indessen bei ganzen Werken oder einzelnen Theilen derselben ein starkes Nachsinken nicht erwarten darf, und sonach diejenigen Steine, welche im Innern liegen, vor dem unmittelbaren Angriff des Stroms gesichert sind, so kann man hier auch leichteres Material verwenden, und es ist nur nöthig, dasselbe mit schweren Steinen zu umschliefsen. Dieses ist vorzugsweise in der obern Fläche oder in der Krone und im Kopfe der Werke erforderlich, wo der Angriff des Eises am stärksten ist. Es ist indessen klar, dafs selbst grofse und schwere Steine, wenn eine Eisscholle sie faſst, leicht aus ihrem Lager gehoben und fortgerissen werden. Es empfiehlt sich daher, die Krone und die Dossirungen, so weit der Wasserstand es erlaubt, mit einem möglichst ebnen und gut schliefsenden Pflaster zu umgeben, wobei auch die Dossirungen mit der Krone durch sanft gekrümmte Flächen verbunden, und überhaupt alle Ecken und Kanten vermieden sind. Die Pflastersteine behalten indessen auch nur so lange ihre geschlossene Lage, als die Unterlage, auf der sie ruhn, nicht ausweicht. Wenn diese aus feinem Material besteht, welches von dem hindurchdringenden Wasser fortgerissen werden

kann, so zeigen sich bald Senkungen im Pflaster, welche besonders bei Einbauen höchst gefährlich sind, indem der überstürzende Strom an solchen Stellen sich verstärkt und daher einen um so heftigern Angriff auf die schon schadhafte Steindecke ausübt. Die Pflastersteine verlieren aufserdem bei eintretender Senkung ihre regelmässige und geschlofsne Lage, sie werden daher um so leichter von dem darüber treibenden Eise, auch wohl von dem Strom gefafst und herabgerollt. Dieser Uebelstand nimmt fortwährend zu und veranlafst immer neue Beschädigungen, so dafs die innere Füllung den Schutz der Steindecke endlich ganz verliert. Man mufs aber besonders bei heftiger Strömung darauf gefafst sein, dafs theilweise Beschädigungen des Pflasters eintreten, und hiernach dürfen Buhnen und andre Strombauwerke nicht aus Sand und Erde aufgeschüttet und unmittelbar überpflastert werden, man mufs vielmehr den aus feinem Material bestehenden Kern zunächst etwa 2 Fufs hoch mit grobem Kies oder kleineren Steinen überdecken.

Die einfachste Stein-Construction bei Stromregulirungen ist die Anbringung einer Steinschüttung vor den in Abbruch stehenden Ufern. Dabei ist es vortheilhaft, ein gleichmäfsiges Material zu verwenden. Es würde allerdings zur sichern Unterstützung der einzelnen Steine beitragen, wenn man die Zwischenräume zwischen ihnen durch kleinere Steine oder Kies ausfüllen könnte. Dieses läfst sich indessen nicht erreichen, weil die Steine nicht in gehörige Lager versetzt, sondern nur herabgeworfen werden und daher ganz zufällig sich ablagern. Es geschieht zuweilen, dafs man zwischen die Steine auch Kies wirft, alsdann ist es aber nicht zu vermeiden, dafs derselbe an einzelnen Stellen nicht nur in die Zwischenräume zwischen den Steinen eindringt, sondern nachdem diese angefüllt sind, sich noch in grofsen Massen über den letztern anhäuft, und die folgenden Steine daher nur auf dem Kiese liegen, der vom Strom fortgespühlt wird, wodurch die Steine wieder in Bewegung kommen. Dieser Uebelstand wird vermieden, wenn man den Kies erst nach Beendigung der Steinschüttung aufbringt, aber gewifs ist alsdann der Nutzen noch geringer und sogar zweifelhaft, da er ein festes Lager für die Steine nicht mehr bilden kann. Ein solches stellt sich indessen auch ohne Kiesschüttung mit der Zeit von selbst ein. In den Zwischenräumen zwischen den Steinen wird nämlich

die Bewegung des Wassers besonders zur Zeit hoher Anschwellungen, wenn das Profil des Stroms sich sehr vergröfsert, viel geringer als im freien Strom. Das herabgeführte Material lagert sich also reichlich und genau schliefsend darin ab, so dafs der Strom selbst die vollständige Ausfüllung bewirkt. In den Fällen, wo die Kiesschüttung dennoch Anwendung findet, pflegt man auf 4 Schachtruthen Steinschüttung 3 S. R. grobe Steine und 1 S. R. Kies zu rechnen.

Was die Gröfse der Steine und die Stärke und Neigung der Steinschüttungen betrifft, so hängt diese von der Heftigkeit des Stromangriffs ab. Wo die Werke dem stärksten Angriff ausgesetzt sind, wählt man am Rhein dazu den Säulenbasalt aus der Gegend von Remagen und Linz. Die Stücke haben alsdann solche Gröfse, dafs sie durchschnittlich einen Centner wiegen, und vermöge ihres grofsen specifischen Gewichts, welches etwa 3,2 ist, bieten sie dem Wasser verhältnifsmäfsig nur eine geringe Angriffsfläche dar, und liegen daher sehr sicher. Man schüttet sie 1½ bis 2 Fufs hoch, und giebt ihnen gewöhnlich eine 1½fache Anlage, obwohl zuweilen auch die einfache vorkommt. Ihre Versenkung, besonders in grofser Tiefe, läfst sich nicht regelmäfsig ausführen, aber eben aus diesem Grunde ist es nothwendig, die mittlere Stärke der Schüttung nicht zu schwach anzunehmen, weil es sonst leicht geschieht, dafs einzelne Theile der natürlichen Uferböschung unbedeckt blieben. Durch möglichst sorgfältiges Peilen mufs man sich davon überzeugen, dafs der Basalt ungefähr gleichmäfsig über die ganze Fläche vertheilt wird. Die am härtesten bedrohten Ufer des Rheins, und namentlich vor der Neustadt Düsseldorf, wo in Folge der scharfen Krümmung die Wassertiefe über 50 Fufs betrug, wurden auf diese Art gedeckt. Die Sicherheit dieser Deckungsart beruht aber darauf, dafs die entstehenden Lücken durch die darüber liegenden Steine ausgefüllt werden, und sonach die Beschädigungen nicht sowohl am Fufs des Ufers oder in grofser Tiefe eintreten, wo sie am gefährlichsten sein würden, sondern im obern Theil der Dossirung. Hier läfst sich indessen die Gefahr leichter erkennen, und man kann ihr durch neue Schüttungen begegnen, besonders wenn Steine vorräthig sind, die man sogleich nachstürzen kann. Wenn solche Beschädigungen auch Anfangs ziemlich bedeutend sind, so hören sie mit der Zeit fast ganz auf, und dieses rührt davon her, dafs die am

schwächsten gedeckten Stellen sich nach und nach durch das herabrollende Material verstärken.

Da die Schachtruthe Basalt im Düsseldorfer Regierungsbezirk 12 bis 15 Thaler kostete, so deckte man diejenigen Uferstellen, welche dem Angriff des Stroms weniger ausgesetzt sind, durch Schüttungen aus andern minder kostbaren Steinen, besonders wurden hierzu Sandsteine von den Ufern der Ruhr verwendet. Doch auch diese waren beim Beginn der durchgreifenden Regulirung des untern Rheins noch zu theuer, als dafs man mit denselben alle Ufer, welche zur Vermeidung neuer Verwilderungen gesichert werden mufsten, hätte decken können. In der Strecke von Wesel bis zur niederländischen Grenze wurden daher vielfach gebrannte Steine verwendet. Die Benutzung derselben für den in Rede stehenden Zweck, sowie auch für die Bedeckung der aus Strauch erbauten Werke, bietet günstige Gelegenheit, um die Vortheile der Stein-Construction bei Strombauten auch solchen Gegenden zuzuweisen, wo natürliche Steine nicht vorkommen oder deren Beischaffung sehr kostbar ist. Es kommt bei den gebrannten Steinen, insofern sie nur zu Schüttungen benutzt werden, auf die Form nicht an, aber wohl ist es wichtig, dafs sie recht hart und fest sind, und weder beim Frost, noch auch bei abwechselnder Nässe und Trockenheit leicht zerfallen. Ein Uebelstand, der bei ihrem Gebrauch eintritt, bezieht sich darauf, dafs sie der Entwendung sehr ausgesetzt sind, indem es bei der sorgfältigsten Aufsicht nicht vermieden werden kann, dafs während der Nacht die Steine auf den Werken gesammelt und in Kähnen fortgeführt werden. Man suchte dieser Entwendung früher dadurch vorzubeugen, dafs man jeden Stein zerschlug. Durch dieses Mittel wurde indessen der beabsichtigte Zweck zum Theil vereitelt, denn in vielen Fällen konnten die halben Steine noch eben so gut, wie die ganzen, anderweitig benutzt werden. Ihrer Entwendung war daher nicht vorgebeugt, und aufserdem verminderte sich mit der Gröfse auch der Widerstand gegen den Stofs des Wassers und Eises. Man fand es daher zweckmäfsiger, eine ungewöhnlich grofse Form zu wählen. Wo man gleiche Steine bei irgend einem Bau in der Nähe anwenden sah, mufste der Besitzer sich ausweisen, wie er zu denselben gekommen sei.

Diese Steine waren 12 Zoll lang, 7 Zoll breit und 3 Zoll stark, zur dicht aufgesetzten Schachtruthe gehörten daher sehr nahe 1000

Steine. Sie wurden unmittelbar am Ufer des Rheins gebrannt, wo der thonige Niederschlag aus dem Strom das Material dazu lieferte. Derselbe günstige Umstand dürfte sich wahrscheinlich in den meisten Fällen wiederholen, wo die Beschaffung natürlicher Steine so kostbar ist, dafs man sie durch künstliche ersetzen mufs. Die Ufer leiden aber gemeinhin nicht durch das Ausheben der Ziegelerde, indem die Gruben in kurzer Zeit sich wieder anfüllen, und man nach wenig Jahren nicht mehr ihre Stelle erkennen kann. Indem man auf diese Art die Erde zu den Steinen in der Nähe gewinnt, und aufserdem das Brennmaterial auf dem Strom leicht beigefahren werden kann, so stellt sich der Preis ziemlich billig. Am Rhein kostete ohnerachtet des hohen Taglohns die Darstellung einer Schachtruthe oder von Tausend Steinen nahe 2 Thaler, wozu noch eben so viel für Brennmaterial und sonstige Nebenarbeiten kam, so dafs der Preis im Ganzen $3\frac{1}{2}$ bis 4 Thaler betrug. Der vierte Theil der Steine pflegte weniger hart auszufallen, man mufste denselben daher zur Unterfüllung oder auch an solchen Uferstellen verwenden, die einem starken Stromangriff nicht ausgesetzt sind und daher keiner besonders festen Decke bedürfen. Diese Verwendung gebrannter Steine war durch die Erfahrung veranlafst, dafs Ziegeleien, die in den Niederlanden häufig auf den Deichen stehn, durch die in grofser Masse abfallenden Steinbrocken einen sichern Schutz dem Ufer geben und dem Angriff des Stroms einen kräftigen Widerstand entgegensetzen, während ober- und unterhalb derselben das Ufer zurückweicht. Häufig findet sich auch die Gelegenheit, alte Gebäude in der Nähe des Stroms anzukaufen, wodurch man gleichfalls für geringe Preise grofse Stein-Massen erhalten kann.

Was die Verwendung der gebrannten Steine betrifft, so gilt für sie dasselbe, was in Beziehung auf Bruchsteine bereits erwähnt ist. Man rechnet wieder auf eine Schachtruthe Schüttung, drei Viertel Schachtruthen dicht aufgesetzte Steine, und gewöhnlich wird noch ein Viertel Schachtruthe Kies gleichzeitig mit den Steinen versenkt. Ob der letztere hierbei nothwendig ist, mufs nach Obigem bezweifelt werden. Die Stärke der Schüttung und die Neigung stimmt gewöhnlich mit der für Bruchsteine angegebenen überein. In neurer Zeit ist man von der Benutzung der Ziegel zurückgekommen, da sie nicht die erforderliche Festigkeit zeigten. Sie werden nicht mehr für diesen Zweck besonders dargestellt, und man verwendet

sie nur, wenn sie für geringe Kosten zu beschaffen sind, und alsdann auch nur als Unterlage der Pflasterungen oder der gröbern Steinschüttungen. Bei hart angegriffenen Ufern ist indessen der Gebrauch der Senkfaschinen mit Steinbewurf jetzt in dortiger Gegend allgemein eingeführt, wovon im Folgenden die Rede sein wird.

Ueber die Ausführung der Steinschüttungen ist wenig zu sagen. Wie bereits erwähnt, sichert man sie gemeinhin, soweit es geschehn kann, durch Abpflasterung. Unter Wasser ist dieses nicht möglich, und sonach pflegt das Pflaster bis zum niedrigen Sommerwasser herabzureichen. Um den Fufs desselben gehörig zu stützen und sein Ausweichen zu verhindern, sobald in der darunter befindlichen Schüttung einige Bewegung eintritt, pflegt man letztere so anzuordnen, dafs sie noch ein Banket von 2 Fufs Breite vor dem Pflaster bildet. In dieses werden die untern Pflastersteine eingelassen.

Der äufsere Rand dieses Bankets wird vor Beginn der Schüttung durch ausgesteckte Stangen sicher bezeichnet, und zwar ebensowol wenn es sich um eine Uferdeckung, als wenn es sich um einen in den Strom vortretenden Bau handelt. Der Steinschüttung giebt man, wenn sie einem heftigen Strom-Anfall ausgesetzt ist, eine 2füfsige, sonst eine 1½füfsige Böschung. Bei verschiedener Gröfse des Materials empfiehlt es sich, mit dem Verschütten der kleinern Steine den Anfang zu machen, und aus den gröfsern die äufsere Decke zu bilden. Besonders mufs man auf die Darstellung der regelmäfsigen Böschung aufmerksam sein, und durch steten Gebrauch des Peilstocks untersuchen, an welchen Stellen bereits die Steine die beabsichtigte Höhe erreicht haben, und wo solche noch nachzuschütten sind. An der untern Mosel, wie auch am Rhein im Coblenzer Regierungs-Bezirk bedient man sich zu diesem Zweck zuweilen eines leichten und fest verbundenen Flosses, das in 3füfsige quadratische Felder getheilt ist und vor die Steinschüttung gelegt wird. Von einem solchen aus läfst sich sehr bequem die Nachmessung der Dossirung so wie auch jede nöthige Verbesserung derselben ausführen.

Es mag noch bemerkt werden, dafs Steinschüttungen auch leicht und ziemlich regelmäfsig auf dem Eise dargestellt werden können. Es ereignet sich nicht selten, dafs das bereits beigeschaffte

Material vor dem Eintritt des Frostes nicht verwendet werden kann, es aber sehr wünschenswerth ist, die Schüttung schon beim Eisgange und Frühjahrs-Hochwasser in Wirksamkeit zu setzen. Alsdann braucht man nur Rinnen in der Breite von einigen Fuſsen in der beabsichtigten Richtung in das Eis einzuhauen, und durch diese die Steine bis zur bestimmten Höhe zu verschütten. Die spätere Regulirung der Dossirung bei offnem und zwar niedrigem Wasser bleibt freilich noch nothwendig, doch erfüllt die Schüttung in ihrem rohen Zustande schon zum Theil ihren Zweck. An der Elbe ist dieses Verfahren mehrfach angewendet.

Oft ist das zu deckende Ufer so weit abgebrochen, daſs es bedeutend hinter die Streichlinie zurücktritt. Alsdann würde eine sehr groſse Steinmasse erforderlich sein, um den ganzen Raum zu füllen. Der hintere Theil dieses Raums ist aber vollständig geschützt, woher auch feineres Material daselbst unbedenklich verwendet werden darf. In diesem Falle, und wenn zugleich besorgt werden muſs, daſs letzteres schon während der Schüttung, bevor also die Verkleidung mit Steinen aufgebracht ist, vom Strom fortgetrieben werden könnte, macht man zwar mit der Steinschüttung den Anfang, stellt diese jedoch in der Form eines Dammes dar, Fig. 91. Taf. XII. Man giebt an der Mosel diesem Damme die Kronenbreite von 2 Fuſs, und zwar liegt dieselbe in der Höhe des niedrigen Sommerwassers, die äuſsere Böschung ist nach Umständen 2 oder $1\frac{1}{2}$ füssig, die innere dagegen möglichst steil, also nach Maaſsgabe der Lagerhaftigkeit der Steine 1 bis $1\frac{1}{4}$ füſsig. Sobald der Damm geschüttet ist, verfüllt man den hintern Raum bis zur Krone des Dammes mit Sand und feinem Kies, und setzt alsdann 4 bis 6 Fuſs darüber diese Schüttung fort, während gleichzeitig das Pflaster auf gehöriger Unterlage davor ausgeführt wird. Gemeinhin begrenzt dieses Pflaster den Leinpfad, wenn dagegen das Ufer eine gröſsere Höhe hat, so wird dasselbe weiter aufwärts nur mit einer Erdböschung versehn, auf welche man Gras ansät, oder noch besser Flachrasen legt.

Sind die Tiefen sehr bedeutend, so würde das beschriebene Verfahren oft keinen Vortheil bieten, indem die innere Dossirung des Steindammes schon nahe den ganzen Zwischenraum umfaſst. In solchen Fällen schüttet man unter Wasser mehrere Dämme über-

einander, Fig. 92. Die innern Dossirungen sind wieder möglichst steil, ihre Höhen 3 bis 5 Fuſs und die Kronenbreiten 2 Fuſs. Nach Darstellung eines jeden Dammes wird der dahinter befindliche Raum bis zur Kronenhöhe verfüllt, so daſs der nächst darüber anzuschüttende auf dieser Hinterfüllung ruht.

Auch bei Buhnen werden die Steinschüttungen gemeinhin nur bis zum niedrigen Wasserstande heraufgeführt, und man läſst sie in dieser Höhe in eine regelmäſsige Steinpackung oder in ein Pflaster übergehn. Letzteres widersteht wegen der ebnen Oberfläche, sowie auch wegen der geschloſsnen Lage der Steine kräftiger dem Stoſs des Eises, und da der Wasserstand zur Zeit des Eisganges gewöhnlich ein hoher ist, so bleibt die tiefer liegende lose Steinschüttung vor dem Gegenstoſsen der Schollen gesichert. Für das Pflaster tritt indessen der Uebelstand ein, daſs der Fuſs desselben keine hinreichende Unterstützung findet. Besonders wenn die Steinschüttung durch das Forttreiben oder Herabfallen einiger Steine in Bewegung kommt, so zeigt sich auch sogleich in dem dagegen gelehnten Pflaster ein Nachsinken, und die Steine kommen, wenn sie auch nicht herabstürzen, doch aus ihrer geschloſsnen Lage. Man vermeidet dieses dadurch, daſs das Pflaster gegen die Schüttung etwas zurücktritt, letztere also vor jenem ein schmales Banket bildet. Sobald dieses an Breite verliert, also die vordern Steine herabgefallen sind, so muſs man dasselbe in seinem frühern Zustande wiederherstellen, damit die Beschädigungen sich nicht bis zum Pflaster fortsetzen.

In Frankreich hat man mehrfach versucht, den Einsturz des Pflasters dadurch zu verhindern, daſs man die einzelnen Schichten oder die Reihen der gleichhohen Steine im Pflaster etwas gegen den Horizont neigt. Hierdurch soll der Vortheil erreicht werden, daſs beim Gegenstoſsen des Eises die Beschädigung sich auf mehrere Reihen vertheilt, und die darüber liegenden in ihrer Spannung noch einige Unterstützung finden.

Zuweilen hat man auch den Fuſs des Pflasters dadurch zu sichern gesucht, daſs man ihn gegen ein starkes Holz lehnt, das durch Pfähle gehalten wird, wie Fig. 102. auf Taf. XIII. zeigt. An der Marne und Seine hat man zu diesem Zweck sogar vollständige und zum Theil verankerte Spundwände benutzt, die bis zum

niedrigsten Wasser hinaufreichen. Bei geringer Wassertiefe genügen hierzu schon kleine Pfählchen, gegen welche sich eine Bohle lehnt, oder auch wohl einfache Flechtzäune.

Diese verschiedenen Wände bedürfen aber immer noch eines besondern Schutzes gegen Unterspülung, und solcher kann wieder nur in einer Steinschüttung bestehn. Die Nothwendigkeit zur Vervollständigung oder Erneuerung der letztern giebt sich jedoch nicht mehr aus dem Abbrechen des Bankets zu erkennen, wenn ein solches fehlt und die Schüttung ganz unter Wasser liegt, wie dieses bei den erwähnten Bauten in Frankreich geschieht.

Für das Pflaster gelten in gewisser Beziehung dieselben Regeln, wie für die Steinschüttung, man mufs nämlich, wenn ein starker Strom oder Eisgang dagegen gekehrt ist, darauf gefafst sein, dafs einzelne Steine gelöst oder fortgetrieben werden. Ihre Unterlage mufs daher wenigstens einigen Widerstand zu leisten im Stande sein. Aber auch die Wasseradern, die sich hindurchziehn, und namentlich das Quellwasser, kann in andrer Beziehung Beschädigungen veranlassen. Wenn nämlich der Untergrund aus leichtem Boden, also aus Erde oder Sand besteht, so wird dieser mit dem Wasser fortgerissen, und die feinen Körnchen dringen durch die Fugen zwischen den Steinen hindurch, worauf das Pflaster einsinkt. Um dieses zu vermeiden, ist es nothwendig, das Ufer, welches gepflastert werden soll, wenn es aus leichtem Boden besteht, mit Kies oder Bauschutt zu bedecken, und hierin die Steine zu versetzen.

Wenn starker Eisgang das Ufer trifft, und man wegen der Kostbarkeit der gröfsern Steine eine vollständige Abpflasterung mit solchen nicht vornehmen kann, so liegt noch ein Vortheil darin, wenigstens in gewissen Abständen einzelne Stellen gehörig zu sichern. So geschah es am Rhein, dafs man in Abständen von etwa 5 Ruthen, Streifen von 6 Fufs Breite mit schweren Basalten vom niedrigen Wasserstande bis zum Uferrande pflasterte, während die zwischenliegenden Theile nur mit hochkantig gestellten Ziegeln gedeckt wurden.

Endlich erwähne ich noch, dafs die Steinschüttung und selbst das Steinpflaster eine Weidenanpflanzung in vielen Fällen gestattet. Zwischen Thonschiefer, Sandstein, Ziegeln und andern weichen Steinen kann man, wenn das Pflaster nicht zu stark ist, und auf einem passenden Untergrunde ruht, Weidenstecklinge pflanzen,

indem man mit einem Setzeisen Löcher einstöfst. Solche Pflanzungen pflegen nicht nur zu gedeihn, sondern sie gewähren dem Werke auch noch in doppelter Beziehung Schutz. Nämlich einmal mässigt das Strauch den Angriff des Stroms und demnächst tragen die Wurzeln noch dazu bei, den Untergrund einigermaafsen zusammen zu halten, und sein schnelles Forttreiben zu verhindern, wenn die Steindecke zerstört werden sollte. In vielen Fällen schüttet man auch über andre bereits ausgeführte Pflanzungen etwa 6 Zoll hoch Steinbrocken oder Ziegel, und gewährt dadurch nicht nur den jungen Pflänzlingen einigen Schutz, sondern umgekehrt wird auch wieder die schwache Steinschüttung durch das Strauch gesichert.

Aus den angegebenen allgemeinen Bedingungen der Stein-Constructionen folgt unmittelbar die Anordnung der Steinbuhnen. In Gebirgsgegenden, wo das Steinmaterial leicht zu beschaffen, auch die Strömung wegen des gröfsern Gefälles meist sehr stark ist, bildet man häufig auch ihren innern Kern nur durch Steinschüttung, ohne Kies oder andres feineres Material dazu zu benutzen. Der über das niedrigste Wasser vortretende Theil der Buhne wird aber abgepflastert, und um das Pflaster zieht sich das bereits erwähnte, etwa 2 Fufs breite Banket der Schüttung, das bei eintretender Vertiefung nachstürzt, ohne dafs das Pflaster sogleich leidet.

Am gröfsten ist die Gefahr der starken Vertiefung vor dem Kopfe der Buhne, und zwar um so gröfser, je steiler derselbe gehalten wird. Aus diesem Grunde pflegt man nicht nur den Kopf sehr flach, also wenigstens mit dreifacher Anlage aufzuführen, sondern aufserdem auch noch eine Schachtruthe Steine auf dem Ufer daneben aufzubewahren, um sogleich die Ergänzung vornehmen zu können, wenn die Schüttung nachzusinken anfängt.

Man hat bei den Stein-Constructionen den grofsen Vortheil, dafs man theils sehr flache Böschungen darstellen, theils auch die Kronen in beliebige Höhe legen kann, ohne darauf Rücksicht nehmen zu dürfen, dafs Pflanzungen darin noch anwachsen. Dieselben sind hier entbehrlich, und wie bereits erwähnt worden, mit Rücksicht auf die Bildung regelmäfsiger Verlandungen sogar nachtheilig, will man sie aber dennoch anbringen, so gedeihen sie selbst in gröfserer Höhe über dem Wasser, als dieses in den aus Strauch aufgeführten Buhnen der Fall ist, weil letztere bei ihrer lockern Zusammensetzung während des niedrigen Wasserstandes stärker

austrocknen, als Steinbuhnen. In diesen füllen sich sehr bald und gewöhnlich schon während des ersten Winters die Zwischenräume mit Sand und selbst mit thonigen Niederschlägen an, und das Weidengesträuch, das man auf ihre Krone pflanzt, gedeiht daher um so besser. Eine Folge dieser Anfüllung der Zwischenräume ist auch das Dichtwerden der Buhnen. Wenn man nämlich bei ihrem Bau die Anwendung von feinem Material vermieden hat, so pflegen starke Wasseradern aus dem Oberwasser in das Unterwasser durch sie hindurch zu ziehn. Man bemerkt dieselben an der untern Seite, wo sie oft als starke Quellen heraustreten. Nachtheilige Folgen hat diese Erscheinung nicht, indem einestheils das Material zu grob ist, als dafs es durch die Strömung fortgeführt werden, und der Bau dadurch leiden könnte, andrerseits ist aber auch die Wassenmenge, welche auf diese Art dem Hauptstrom entzogen wird, zu unbedeutend, als dafs jener sich dadurch merklich schwächen sollte.

In Fig. 98 *a* und *b* ist der Querschnitt und die Seitenansicht einer Buhne dargestellt, wie sie an der untern Mosel ausgeführt wurden. Man machte den Anfang mit den Steinschüttungen, die das Werk umgeben. Sie wurden von dem Strombette bis zur Höhe des niedrigen Wassers heraufgeführt, der innere Körper der Buhne aus grobem Kies aufgeschüttet und zuletzt der obere Theil mit rohen Bruchsteinen, gewöhnlich mit Thonschiefer gepflastert. Die Krone hatte eine Breite von 6 Fufs, die Böschungen zur Seite erhielten gewöhnlich einfache Anlage, doch war dieselbe, wenn ein starker Uebersturz des Wassers besorgt werden mufste, auf der stromabwärts gekehrten Seite auch anderthalbfach. Der Kopf dagegen erhielt mindestens eine zweifache und oft eine dreifache Anlage. Die aus der Steinschüttung gebildeten Bankete waren 2 Fufs breit. Das Pflaster wurde reihenweise in gehörigem Verbande ausgeführt, und zwar so, dafs die Reihen mit der Achse des Werkes parallel lagen.

Bei den Steinbuhnen ist ebenso, wie bei allen andern Buhnen der Kopf am meisten der Gefahr der Zerstörung ausgesetzt, und diese tritt sogleich ein, wie das Pflaster herabstürzt. Von den Vorsichtsmaafsregeln, wodurch dieses verhindert werden kann, ist bereits die Rede gewesen. Aufserdem ist aber auch die Wurzel ein gefährlicher Punkt, insofern die Erde im Ufer sich nicht mit den Steinen verbindet. Die erstere wird leicht durch das neben den

Steinen hindurchdringende Wasser fortgespült, worauf diese sich senken und eine Rinne bilden, welche bald an Breite und Tiefe zunimmt und das Werk vom Ufer trennt. Man verhindert dieses dadurch, dafs man die gepflasterte Krone in der Art, wie Fig. 98 *b* zeigt, gegen das höhere Ufer etwas ansteigen läfst. Man darf dabei indessen keinen Rücken bilden, der sich über das Ufer erhebt, weil das Wasser beim Uebersturz über denselben aufs Neue Veranlassung zum Angriff des Ufers finden würde, das Pflaster in der Verlängerung der Krone mufs vielmehr in das Ufer eingelassen werden. Die Bepflanzung des Ufers mit Weiden trägt wesentlich zur Sicherung der Buhne bei.

Einigermaafsen ähnlich, jedoch wegen der dabei benutzten regelmäfsig bearbeiteten Steine viel kostbarer, ist die Construction der Parallelwerke, die unter der Französischen Herrschaft im obern Theil der Mosel ausgeführt wurden. Fig. 99 *a* zeigt diese Constructionsart. Auch hier schützen zwei Dämme aus schweren Steinen bestehend den innern Körper des Werkes. Diese Dämme greifen in das Strombett ein, damit nicht in Folge einer Vertiefung neben ihnen ein Nachstürzen der Steine besorgt werden darf. Der innere Körper des Werkes besteht aus demselben groben Kiese, der auch gewöhnlich im Preufsischen zu diesem Zweck angewendet wird. Wesentlich verschieden ist aber die Krone, welche mit keilförmig bearbeiteten Sandsteinen regelmäfsig abgepflastert wird. Dieses Pflaster lehnt sich gegen schwere Widerlagssteine zur Seite, die in den äufsern Flächen gleichfalls bearbeitet sind, und auf den Steinschüttungen ruhn. Die gröfsere Sorgfalt, womit die Werke ausgeführt sind, rechtfertigt sich dadurch, dafs sie dem starken Angriff des Stroms fortwährend ausgesetzt bleiben. Die geringere Stärke steht aber einigermaafsen mit der geringern Höhe im Verhältnifs. Die Krone ist nur $2\frac{1}{2}$ Fufs breit und erhebt sich 1 Fufs über das gewöhnliche kleine Wasser, die Bankete sind 1 Fufs breit, und dieses ist auch die Stärke des Pflasters. Die Steinschüttung an der dem Strome zugekehrten Seite wird $1\frac{1}{2}$ Fufs in das Bett versenkt, die gegenüber liegende etwa halb so tief. Die Art der Ausführung ist folgende. Man stöfst in der Richtung des Werkes, in der Entfernung von etwa 8 Fufs von einander, je zwei schwache Pfähle ein, verbindet sie, wie Fig. 99 *b* zeigt, durch ein dagegen genageltes Bohlenstück, und legt hierüber zwei Bohlen, welche eine leichte

Brücke bilden. Nunmehr wird von dieser Brücke aus mit einer Art von Handbagger der Kies von beiden Seiten herangezogen und unter der Brücke aufgehäuft. Hierdurch bildet sich der innere Kieskörper des Werks, während die beiden Rinnen an den Seiten zur Versenkung der Steinschüttung dienen. Diese Arbeit wird ziemlich gleichmäfsig in der ganzen Länge des Baues ausgeführt, und es geht aus der obigen Mittheilung über die Anordnung dieser Parallelwerke (§. 23.) hervor, dafs in dem abgeschlofsnen Theil des Strombettes das Wasser sich senkt, und sonach dieser niedrige Damm überströmt wird. Dieser Umstand ist insofern günstig, als dadurch das feine Material ausgespült wird und nur der grobe Kies liegen bleibt.

Auch in den neuern am Rhein und der Elbe ausgeführten Buhnen wiederholt sich nahe dieselbe Construction. Fig. 93. auf Tafel XII. zeigt den Querschnitt einer Buhne, wie sie am untern Rhein erbaut werden, der Unterschied beruht nur darin, dafs wegen der hohen Steinpreise Kies verwendet wird, den man in Senkfaschinen zu grofsen Massen verbindet und dadurch sein Abtreiben verhindert. Die Einzelheiten hierüber werden im nächsten Paragraph mitgetheilt werden.

Hier sind noch diejenigen Constructionen zu erwähnen, wobei man wegen heftiger Strömung und um zugleich an Steinmaterial zu sparen, letzteres durch Holzwände zusammenhält. Dieses geschieht jedoch nur, wenn das Holz leicht zu beschaffen ist.

Dahin gehören besonders die sogenannten Senkkasten, welche man im südlichen Deutschland, und namentlich in Baiern und Oesterreich häufig anwendet, und zwar nicht nur bei Einbauen, sondern auch bei Uferdeckungen. Selbst die Leinpfade liegen oft auf Senkkasten, wie dieses z. B. an der Traun der Fall ist. Fig. 100 *a* und *b* Taf. XIII. zeigt im Grundrifs und in der Seitenansicht einen solchen Senkkasten. Er besteht aus einer Umfassung von starkem Holz, worin die Steinschüttung sich befindet.

Die Senkkasten sind oben 12 bis 15 Fufs breit, ihre Länge richtet sich nach der der Stämme, doch erhalten sie etwa alle 12 Fufs eine Mittelwand. Die Neigung der Seitenflächen ist gewöhnlich so grofs, dafs der obere Rand um den sechsten Theil der Höhe des Kastens eingezogen wird. Die Construction ist sehr einfach.

Die runden Holzstämme werden, nachdem sie in passenden Längen zugeschnitten sind, eingekerbt, so dafs die quer übergelegten Stücke ein sichres Lager erhalten. Die Verbindung durch Nägel wird nur unten und oben angebracht. Die eingeworfenen grofsen Steine, welche zum Theil auf der innern Seite der Stämme aufliegen, halten durch ihr Gewicht das ganze Werk zusammen. Es leuchtet ein, dafs die sehr steilen Wände eine grofse Vertiefung vor sich erzeugen, aber der Vortheil dieser Construction beruht eben darauf, dafs der Kasten sich senken kann, ohne dabei zu leiden. Selbst ein ungleichmäfsiges Versinken schadet wenig, und man sieht häufig sie so stark übergewichen, dafs die Wände nicht nur ihre Dossirung ganz verloren haben, sondern sogar überhängen. Man pflegt aber durch keilförmig zugehauene Hölzer die Oberfläche immer möglichst horizontal zu halten, sobald eine Erhöhung nöthig wird. Pechmann führt an *), dafs solche Kasten sich nach und nach bis 30 Fufs gesenkt hätten, ohne dafs ihre Festigkeit dadurch beeinträchtigt wäre.

Häufig benutzt man die Senkkasten als Buhnenköpfe und verbindet sie alsdann mit dem Ufer durch sogenannte Bänke, deren Querschnitt Fig. 100. *c* dargestellt ist, während Fig. 100. *b* die Seitenansicht derselben zeigt. In Abständen von 8 Fufs werden Pfähle senkrecht eingerammt, gegen welche man andre schwächere Pfähle nagelt, die schräge eingetrieben sind, und zwar so, dafs ihre untern Enden stromaufwärts gekehrt sind. Diese, sowie auch die senkrechten Pfähle werden auf der dem Strome zugekehrten Seite mit Latten benagelt, und der auf diese Weise abgeschlofsne Raum wird abwechselnd mit Faschinen und Steinen angefüllt.

Die Höhe, bis zu welcher die Senkkasten, sowie auch die Bänke sich erheben, übersteigt gemeinhin das höchste Fahrwasser um einige Fufse. Es darf kaum erwähnt werden, dafs durch Constructionen dieser Art eine gehörige Regulirung des Stroms nicht herbeigeführt werden kann. Sie dienen nur dazu, das Wasser zusammen zu halten und einzelne Ufer zu decken. Häufige und bedeutende Reparaturen sind dabei unvermeidlich, und dennoch zeigen sie immer grofse Unregelmäfsigkeiten. Wenn sie aber gleich-

*) Praktische Anleitung zum Flufsbau von Pechmann. München 1825. Theil I. §. 44.

wohl nicht sobald zerstört werden, so geschieht dieses vorzugsweise deshalb nicht, weil sie meist auf Felsboden ruhn.

§. 32.
Senkfaschinen.

Es ist bereits erwähnt worden, dafs man kleine Steine und selbst groben Kies gegen den Stofs des Wassers sichern kann, wenn man gröfsere Massen derselben durch eine gemeinschaftliche Umschliefsung verbindet. Dieses Mittel wird in vielen Fällen angewendet, und zwar gewöhnlich in der Art, dafs man Strauchbündel oder Faschinen mit Steinen anfüllt. Beim gewöhnlichen Faschinenbau oder dem sogenannten Packwerksbau verbindet man das Strauch zu ganzen Lagen, und bringt auf diese das erforderliche Beschwerungsmaterial auf, was jedoch in heftigem Strom grofse Schwierigkeiten hat. Im vorliegenden Falle dagegen wird jede Faschine mit dem erforderlichen Beschwerungsmaterial unmittelbar versehn, man kann sie daher einzeln versenken, und wie sie sich auch immer legt, oder wohin der Strom sie auch treiben mag, wenn sie Anfangs von demselben noch fortgerollt werden sollte, so trennt sie sich doch nie von ihrem Beschwerungsmaterial. Man nennt solche Verbindungen Senkfaschinen. Sie erhalten sehr verschiedene Dimensionen, und oft sind diese so geringe, dafs dadurch nur leichtere Regulirungswerke gebildet werden. Hier ist nur von gröfsern Senkfaschinen die Rede, welche ansehnliche Quantitäten Steinmaterial enthalten.

Die Senkfaschinen sind schon seit langer Zeit angewendet worden. Eine interessante Nachricht von ihrer frühern Benutzungsart befindet sich in dem geheimen Archiv zu Königsberg, die ich im III. Theile dieses Handbuches §. 50. ausführlich mitgetheilt habe. Sie beruht auf der Aeufserung eines Danziger Baumeisters, der im Jahr 1624 den Vorschlag machte, mittelst Senkfaschinen, die er Saltitzen nannte, die aber sehr genau mit den noch jetzt üblichen übereinstimmten, den Pillauer Hafen gegen Versandung zu schützen.

Zuweilen stellt man Senkfaschinen in einfachster Weise dar, indem man einzelne Steine in gewöhnliche Faschinen steckt. Die-

ses geschieht indessen niemals bei ausgedehnten Bauten. Hier soll die bei uns übliche Methode ihrer Anfertigung beschrieben werden, die man auch zur Deckung der Ufer in den Durchstichen des Rheins zwischen Baiern und Baden, so wie auch zu gleichem Zweck im Elsafs angewendet hat. *) Zunächst mufs indessen mitgetheilt werden, in welcher Art sie zur Uferdeckung am Ober-Rhein benutzt werden.

Das zu schützende Ufer wird mit einer möglichst geschlofsnen Lage von Senkfaschinen bis über das kleinste Wasser bedeckt. Dieselben liegen sämmtlich in der Richtung des Stroms, und zwar bilden sie Reihen, die normal gegen den Strom gekehrt sind, und von der Sohle des Bettes bis zur bestimmten Höhe am Ufer heraufgehn. Dadurch entstehn freilich durchgehende Fugen, welche jede Verbindung zwischen je zwei Reihen aufheben. Diese Fugen kann man aber an sich nicht als besonders nachtheilig ansehn, da sie nicht in die Richtung des Stroms treffen, aufserdem aber ist der Mangel einer Verbindung zwischen je zwei Reihen in sofern vortheilhaft, als eben dadurch das Herabrollen der einzelnen Faschinen erleichtert wird, und man annehmen darf, dafs dieselben jedesmal nachstürzen, sobald vor dem Fufs eine Vertiefung eintritt. Man stellt die Bank, auf welcher die Faschinen gebunden werden, unmittelbar am Uferrande, und zwar parallel zu demselben auf. Sobald eine Faschine fertig ist, wird sie herabgerollt, dasselbe geschieht mit der zweiten, dritten und so weiter, bis endlich die Reihe fertig ist. Alsdann wird die Bank versetzt, und man schiebt sie nicht nur um die ganze Länge der Faschine, sondern noch um 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fufs weiter vor, damit die folgende Reihe nicht durch die vorhergehende am Herabrollen behindert wird. Die Länge der Faschinen im Badenschen beträgt 18 Fufs und ihre Stärke 3 Fufs, im Elsafs machte man sie nur $12\frac{1}{4}$ Fufs lang bei einer Stärke von $2\frac{1}{4}$ Fufs. Diese letzte Stärke giebt man ihnen gewöhnlich auch bei uns, während die Längen nach Umständen sehr verschieden sind.

Die Bank ist Fig. 114. *a* auf Taf. XIV. im Längen-Durchschnitt, *b* in der Ansicht von oben und *c* im Querschnitt dargestellt. Zwei schwache Bäume oder zwei Stücke Kreuzholz von der Länge,

*) In den *Annales des ponts et chaussées* 1833. II. p. 70 ff. befindet sich eine ausführliche Beschreibung dieser Senkfaschinen.

welche die gröfsten Senkfaschinen erhalten sollen, werden parallel neben einander im Abstande von etwa 2 Fufs auf den Boden gelegt. Man befestigt sie durch acht kleine Pfählchen, nämlich zwei an jeder Seite jedes Baumes, und zwar in der Nähe der Enden derselben, die in den Boden eingetrieben werden. Hierauf schlägt man wieder in Abständen von etwa 2 Fufs an beiden Seiten schräge Pfähle ein, die sich gegen die ersten Bäume lehnen und an diesen eine sichre Stütze finden, woher es nicht nöthig ist, sie besonders fest einzutreiben. Sie müssen auch an der dem Strom zugekehrten Seite jedesmal beim Herablassen der Faschine ausgezogen werden, daher ist es nicht zweckmäfsig, sie fester zu stellen, als gerade nöthig ist. Neben jedes Paar dieser Pfähle legt man sodann ein Querholz, und auf diese Weise bildet sich eine Rüstung, worin man bequem die Packung der Faschinen vornehmen kann. Um aber hierbei ein genaues Maafs für die Länge zu haben, so wird an jedem Ende noch ein Pfahl vorgeschlagen, der bis gegen die Mitte der fertigen Faschine heraufreicht.

Um die Senkfaschine zu binden, legt man für die in der Zeichnung gewählten Dimensionen, nämlich 2½ Fufs Durchmesser und 12 Fufs Länge, sechs gewöhnliche Faschinen in diese Rüstung, und zwar so, dafs die Sturzenden von je drei Faschinen an jedem Ende nach aufsen gekehrt sind. Sie werden aufgeschnitten und die Sturzenden sorgfältig soweit eingestofsen oder herausgezogen, dafs sie in die Vertical-Ebenen treffen, welche durch die beiden äufsern Pfähle markirt sind. Nun breitet man das Strauch gehörig aus über den Boden und die Seiten, so dafs ein gleichmäfsiges Bett sich bildet. Die Oeffnungen an den Enden des Bettes werden durch Pfropfen aus kurzem Strauch geschlossen, und wenn dieses geschehn, so schüttet man gereinigten groben Kies hinein. Zum Füllen einer solchen Faschine gehören etwa 30 Cubikfufs. Man breitet diesen Kies recht gleichmäfsig aus und legt endlich vier Faschinen darüber, die eben so wie die ersten aufgeschnitten und mit den Sturzenden nach aufsen gleichmäfsig über den Kies vertheilt werden. Nachdem man die Umhüllung auf diese Weise sorgfältig ausgeglichen hat, werden starke Bänder aus Haselnufs, Eiche, Esche oder einer andern harten Holzart in Abständen von 1 Fufs umgelegt. Ueber die Zurichtung dieser Bänder soll später bei Gelegenheit des Faschinenbaues die Rede sein, doch mufs hier mitgetheilt

werden, in welcher Weise man sie aufbringt. Beim Herabrollen erleiden die Senkfaschinen starke Stöfse, wobei sie wegen ihres grofsen Gewichts leicht beschädigt werden und brechen können. Sie müssen daher fest verbunden sein, und diese Verbindung erhalten sie allein durch die umgelegten Bänder.

Bevor ein Band aufgelegt wird, schnürt oder würgt man die Faschine dicht neben der Stelle, wo sie gebunden werden soll, stark zusammen, und dieses geschieht mittelst der in Fig. 114. dargestellten Vorrichtung. Ein starkes Tau, oder da dieses sich bald durchscheuert, besser eine Kette, wird um die Faschine geschlungen und durch die Ringe an den Enden steckt man zwei Hebel von 6 Fufs Länge. Jeder Hebel wird durch einen Arbeiter kräftig herabgedrückt, während ein dritter Arbeiter mit einem schweren hölzernen Hammer auf die Faschine neben der Kette aufschlägt, und zwar nicht nur oben, sondern auch zur Seite, so weit es durch die Hebel und die Rüstung nicht verhindert wird. Das Schlagen befördert wesentlich die Compression des Strauchs, so wie auch das scharfe Anlegen desselben an die Steine. Neben die Kette legt man alsdann das gehörig vorbereitete Band, in gleicher Weise, wie beim Binden der Würste, was später beschrieben werden soll. Das Band kann natürlich nicht so fest angezogen werden, wie die Kette, und wenn die Faschine beim Abnehmen der Kette sich auch etwas ausdehnt, so bleibt dennoch eine solche Spannung, dafs dadurch die nöthige Festigkeit erreicht wird. Man pflegt zuerst das mittelste Band aufzulegen, alsdann die äufsersten, und von diesen geht man wieder nach der Mitte zurück. Dabei ist sorgfältig darauf zu achten, dafs die vortretenden Enden der Bänder jedesmal von den nächsten überdeckt und durch diese gesichert werden, damit die Schlösser sich nicht lösen.

Die Rüstung ist so eingerichtet, dafs man die Kette und eben so auch die Bänder mit Leichtigkeit durchziehn kann, und indem gleichzeitig immer zwei Bänder umgelegt werden, so ist, wenn die Bänder gehörig vorbereitet sind, die vollständige Anfertigung einer Senkfaschine in 20 Minuten beendigt. Dabei werden sieben bis acht Arbeiter beschäftigt. Sobald alle Bänder aufgebracht sind, zieht man die schrägen Bäume der Bank auf der Stromseite heraus und rollt mittelst untergestellter Hebel die Senkfaschine bis über den Uferrand, von wo aus sie von selbst auf der steilen Dossirung

ihre Bewegung fortsetzt. Fig. 115 *a* zeigt die Senkfaschine in der Seitenansicht, *b* im Längendurchschnitt und *c* im Querdurchschnitt. Von manchen Modificationen in der Darstellung der Senkfaschinen wird im Folgenden die Rede sein.

Wenn man statt des Kieses Steine benutzt, die sich gehörig verpacken lassen, so ist die sorgfältige Vorbereitung der Strauchbettung weniger nothwendig, man kann daher in diesem Fall die Rüstung oder die Bank entbehren, und es genügt, statt derselben nur die Querschwellen in Abständen von 2 Fufs zu verlegen. Auf diese Art sind die Senkfaschinen erbaut, welche man am Unterrhein bei Wesel versenkt hat. Dieselben waren 20⅓ Fufs lang und 3 Fufs stark, so dafs ihr körperlicher Inhalt eine Schachtruthe betrug. Sie wurden theils mit Basalten, theils aber, wo sie weniger dem Strom ausgesetzt waren, mit Sandsteinen und in andern Fällen auch mit Ziegeln gefüllt. Man rechnete auf jede derselben zwanzig Stück Faschinen und zwei Drittel Schachtruthen Steine.

Sehr wichtig ist es, dafs die Senkfaschinen nicht weit gerollt werden, weil sie dabei leiden, man mufs sie daher möglichst nahe an der Stelle, wo sie versenkt werden sollen, auch anfertigen, und besonders ist dieses nothwendig, wenn sie mit weniger Vorsicht, als hier beschrieben wurde, gebunden sind.

Man wendet die Senkfaschinen auch häufig zu andern Zwecken an, als zur Uferdeckung. So wurden sie z. B. bei den von französischen Ingenieuren ausgeführten Coupirungen der Rheinarme zur Darstellung der Dämme benutzt, und in gleicher Weise sind sie auch beim Bau der Schwelle oder des Grundwehrs im Büdericher Canal angewendet. Im letzten Falle wurden sie reihenweise quer durch den Strom versenkt, und zu diesem Zweck legte man ein Schiff, auf welches sie vom Ufer aus herübergebracht wurden, neben der Stelle vor Anker, wo sie versenkt werden sollten, und liefs sie auf zwei eisernen Stangen, die schräge gegen das Schiff gelehnt waren, an umgeschlungnen Tauen herab. Ob sie regelmäfsig versenkt sein mögen, ist bei der grofsen Tiefe und heftigen Strömung schwer zu untersuchen. Bei den Coupirungen am Oberrhein geschah die Versenkung auf andre Art. Um zu verhindern, dafs sie nicht etwa längs dem Strombett fortrollen möchten, verband man je drei Faschinen durch aufgebundne Bäume zu einer gröfsern Fläche, welche sicher auf dem Grunde lag. Das Versenken geschah

hier in der Art, dafs über zwei Schiffen ein Rüstboden angebracht war, auf welchem die Faschinen angefertigt wurden, die Schiffe berührten sich aber nicht, sondern liefsen zwischen sich einen freien Raum von 17½ Fufs Breite. Eine quadratische Oeffnung von derselben Länge und Breite befand sich im Rüstboden über dem freien Raume, und wurde durch eine Klappe geschlossen, welche sich um eine horizontale Achse drehn konnte. Die Klappe war während der Zusammensetzung der Faschinen geschlossen und durch vorgeschobne Riegel in ihrer Lage sicher gehalten. Sobald aber drei Faschinen fertig waren, rollte man diese auf die Klappe und zwar so, dafs ein geringes Uebergewicht nach der stromabwärts gekehrten Seite sich bildete. Alsdann verband man die drei Faschinen in der beschriebnen Weise mit einander, und schlug die Riegel zurück. Die Klappe drehte sich alsdann, und die Faschinen glitten herab und stürzten in den Strom. Die Strömung war indessen so heftig, dafs sie nicht lothrecht herabfielen, sondern etwas fortgetrieben wurden, bevor sie den Grund erreichten. Indem man eine Schnur an sie befestigte, konnte man sich davon überzeugen, wo sie lagen, und hiernach die Stellung des Schiffes so verändern, dafs die folgenden an die gehörige Stelle kamen. Man wendete auch noch ein eigenthümliches Verfahren an, um je zwei solcher Systeme von Faschinen nahe an einander zu bringen. Es wurde nämlich an eine der äufsern Faschinen eine feste Oese aus Weidenstrauch angebracht, durch diese zog man ein hinreichend starkes Tau, dessen beide Enden man im Schiffe behielt, um es später wieder zurückziehn zu können. An dem nächsten System befand sich wieder an einer der äufsern Faschinen eine Oese, und durch diese wurde ein Ende jenes Taues gleichfalls hindurchgezogen und scharf angespannt, damit dieses System längs dem Tau herabgleiten möchte. Nachdem die zweite Versenkung geschehn war, wurde das Tau zurückgezogen. Man hoffte auf diese Weise die Verbindungen von je drei Faschinen regelmäfsig neben einander zu legen, doch ist es wohl sehr zweifelhaft, ob dieses wirklich erreicht wurde.

In neurer Zeit haben die Senkfaschinen sowol bei Strombauten wie auch an der See vielfache Anwendung gefunden, und namentlich werden sie im untern Theil des Preufsischen Rheins, wo grobes Steinmaterial nur mit bedeutenden Kosten beschafft werden kann, bei allen gröfsern Uferdeckungen, Buhnen und Stromschwel-

len benutzt. Ueber ihre Anfertigung ist wenig hinzuzufügen, da diese mit der vorstehend beschriebnen nahe übereinstimmt. Beide unterscheiden sich nur dadurch von einander, dafs hier die Bänder nicht aus Zweigen, sondern aus Eisendraht bestehn, wodurch die Faschine gröfsere Festigkeit erhält, und beim Transport, wie beim Versenken weniger leidet.

Der dabei verwendete Draht hält $1\frac{1}{2}$ Linien im Durchmesser und mufs vorher geglüht sein, damit er beim Umlegen nicht bricht. Man bringt ihn neben die Würgekette, und nachdem diese durch Aufschlagen gehörig angetrieben ist, biegt man beide Enden des Drahts hakenförmig um, kneift mit einer Zange dasjenige Ende ab, welches bisher noch nicht abgeschnitten war, fafst nunmehr mit einer stumpfen Zange beide Enden und dreht diese über einander, bis das Band sehr stark gespannt ist. Während dieser Zeit bleibt die Würgekette in fortwährender Thätigkeit. Endlich wird die vortretende Drahtwindung in das Strauch geschlagen, damit sie beim Rollen der Faschine nicht leidet, oder die Bewegung hindert. Diese Bänder sind 18 Zoll von einander entfernt.

Zum Füllen der Faschinen wird grober Rheinkies verwendet, der freilich zuweilen auch ziemlich feine Körner enthält. Auf eine Schachtruthe Senkfaschinen-Packung rechnet man 40 Faschinen, von denen 9 Schock eine Schachtruthe bilden, $\frac{2}{3}$ Schachtruthen Kies und 8 Pfund Draht. Die einzelnen Faschinen sind $2\frac{1}{4}$ Fufs stark, während ihre Länge nach Bedürfnifs sehr verschieden ist, wenn aber ein bestimmtes Maafs dafür nicht gegeben ist, werden sie 12 Fufs lang gebunden.

Ueber die Art der Versenkung ist im Allgemeinen anzuführen, dafs man die Faschinen meist parallel zum Strom legt, damit sie von demselben nicht gefafst und fortgerollt werden. Man läfst sie frei herabfallen, da sie aber während des Niedersinkens der Wirkung des Stroms ausgesetzt sind und mehr oder weniger fortgetrieben werden, so pflegt man bei gröfsern Tiefen die ersten Faschinen mit Oesen zu versehn, durch welche Leinen hindurchgezogen sind. Indem man diese lothrecht von einem Boote aus anzieht, so giebt sich die Stelle zu erkennen, wo sie liegen, und beim Versenken der folgenden geht man soweit stromaufwärts, dafs sie bei gleicher Strömung an der passenden Stelle niederfallen. Gewöhnlich werden die Faschinen reihenweise versenkt, so dafs eine die andre

berührt. Wenn dieses bei gröfserer Tiefe auch nicht in voller Schärfe erreicht werden kann, so mufs doch besonders verhindert werden, dafs nicht etwa eine zum Theil auf die vorhergehende fällt, und dieses vermeidet man dadurch, dafs der Prahm, von welchem aus die Versenkung erfolgt, sich an diejenige Seite der Reihe legt, der die nächste Faschine angeschlossen werden soll. Vor dem Herabrollen stellt man zwei Stangen so auf, dafs sie die letzte im Grunde liegende berühren. Dieses läfst sich leicht ausführen, und indem man die obern Enden der Stangen vom Prahm abwendet, stürzt die Faschine daneben herab, und kann nicht auf die früher versenkte fallen.

Die Senkfaschinen vertreten die Stelle gröfserer Steine, und wie Schüttungen der letzteren als Einfassung benutzt werden, um den Kern eines Werkes aus feinerem Material zu bilden, so dienen hierzu auch die Senkfaschinen. Fig. 93. auf Taf. XII. zeigt den Querschnitt einer Buhne, wie solche am Unterrhein oft in sehr tiefem Wasser erbaut werden. Man beginnt den Bau mit der Darstellung der beiderseitigen Einfassungen. Die äufsern Dossirungen derselben sind meist 2füfsig, doch wird die stromaufwärts gekehrte oft etwas steiler, also 1½füfsig angelegt. Die innern Dossirungen werden sehr steil gehalten, und sind zuweilen sogar rückwärts geneigt, indem die folgende Faschinenreihe zum Theil auf dem Sande ruht, womit nach dem Versenken jeder einzelnen Lage der innere Raum sogleich ausgefüllt wird. Die sämmtlichen Senkfaschinen liegen dabei in der Richtung des Stroms. Auf diese Weise geht man bis nahe unter das niedrigste Wasser herauf und gleicht nunmehr die Schüttung aus und überdeckt sie sowol, als auch die Senkfaschinen mit einer etwa 1 Fufs starken Buschlage. Da einiges Nachsinken oder eine Compression jedesmal eintritt, so bleibt alles Strauchmaterial stets unter Wasser, und in dieser Beziehung unterscheidet sich die hier übliche Verwendung der Senkfaschinen sehr vortheilhaft von derjenigen am Oberrhein, wo ein Theil derselben trocken liegt und bald verrottet.

Nunmehr werden die beiderseitigen Dossirungen so wie auch jene Strauchlage, erstere durchschnittlich etwa 1 Fufs hoch mit Steinen beschüttet. Die äufsern Ränder dieser Schüttung bilden Bankete, die auch später frei bleiben, 2 Fufs breit sind und in der Höhe des niedrigen Sommerwassers liegen. Die Krone

endlich besteht aus einer überpflasterten Steinschüttung, deren Dossirungen mit den unter Wasser befindlichen übereinstimmen. Die Krone hat nach Maafsgabe des Angriffs, dem das Werk ausgesetzt ist, eine Breite von 6 bis 8 Fufs. Am Kopf liegt sie in der Höhe des gewöhnlichen Wasserstandes oder 2 Fufs über den in gleicher Höhe durchgeführten Banketen, und steigt nach der Wurzel flach an, ohne jedoch über das Ufer sich zu erheben.

Der Kopf wird besonders gesichert. Indem die Seiten-Böschungen bei jeder Tiefe dieselben bleiben, so nimmt die Basis des Kopfes eine gröfsere Breite an, sie erhält aber auch eine bedeutende Länge, da der Kopf mindestens mit einer 4füfsigen, oft sogar mit 6füfsiger Böschung bis zum Strombett ausläuft. Feineres Material zur Ausfüllung eines freien Raumes wird dabei gar nicht verwendet, vielmehr besteht der ganze Kopf in dem unter Wasser liegenden Theile mit Einschlufs seiner Böschungen nur aus den neben und übereinander liegenden Senkfaschinen, die sämmtlich parallel zum Strom gerichtet sind. In der Höhe des kleinen Wassers werden diese wieder, wie in der Buhne selbst, durch eine Buschlage überdeckt und ausgeglichen. Die Dossirungen werden mit Steinen etwa 1 Fufs hoch beworfen. Dasselbe geschieht auch auf der Buschlage und die Bankets, so wie die Steinpackung und deren Ueberpflasterung erfolgt in gleicher Weise, wie in dem hintern Theil des Buhnenkörpers.

Sehr wichtig ist noch die Verwendung der Senkfaschinen zur Deckung der Ufer im Preufsischen Antheil des Rheins. Dieselbe ist von derjenigen am Ober-Rhein wesentlich verschieden, und zeichnet sich vor dieser durch gröfsere Solidität vortheilhaft aus. Nachdem man sich von der Unhaltbarkeit der früher ziemlich allgemein üblichen Methode, die Ufer durch schräge abfallende Packwerkslagen oder sogenannte Bleswerke zu decken (die im Folgenden beschrieben werden sollen), überzeugt hatte, ging man vor etwa 30 Jahren dazu über, die unter Wasser liegenden Böschungen der Deckwerke aus Senkfaschinen zu bilden, während der weiter zurückliegende Theil bis zum abgebrochnen Ufer mit Sand und Kies ausgefüllt wurde. In dieser Weise sind die bis zu grofser Tiefe steil abgebrochnen Ufer an der Kniep (unterhalb Ruhrort), vor dem Rinderhause (Orsoy gegenüber), am Büdricher Canal (unterhalb der Weseler Schiffsbrücke) und besonders vor der Neustadt Düsseldorf

verbaut, die sich sämmtlich auch gut erhalten haben. Die dabei in Anwendung gebrachte Bauart ist nach den Erfahrungen, die man inzwischen sammelte, in mancher Beziehung etwas geändert und ist nunmehr folgende.

Man macht mit einer genauen Aufnahme des Ufers und des davor liegenden Strombetts den Anfang, die Situations-Charte wird im Maafsstabe von 1 zu 100 aufgetragen und darin werden die Tiefenlinien für 3 Fufs, 6 Fufs u. s. w. eingezeichnet. Ausserdem werden auch Querprofile in mäfsigen Entfernungen besonders dargestellt, aus welchen sich ergiebt, wie weit die angenommnen 2füfsigen, zuweilen auch nur 1½füfsigen Dossirungen von der vorher bestimmten Uferlinie sich entfernen. Man macht den Anfang mit dem Versenken derjenigen Faschinen, welche in den gröfsten Tiefen den Fufs der Dossirung bilden sollen. Die Richtung des Fufses so wie später jeder folgenden Faschinen-Schicht mufs am Ufer oder im Flufsbett genau markirt werden. Zum Versenken bedient man sich eines am hintern Ende stumpf abgeschnittnen Fahrzeuges, gewöhnlich einer aufser Dienst gesetzten Fährschalde. Dieselbe wird fest vor ein Anker gelegt, und wenn sie in die bezeichnete Linie gebracht ist, wird über ihr stumpfes Ende fort eine Senkfaschine herabgeworfen. Dieselbe fällt also nahe queer gegen den Strom, jedoch an das untere Ende des tiefsten Kolkes, woher der Strom sie über eine ansteigende Fläche rollen müfste. Nunmehr wird das Fahrzeug am Ankertau 2 bis 3 Fufs stromaufwärts gewunden und die folgende Faschine in gleicher Weise herabgeworfen. Indem ihre Stärke 2½ Fufs mifst, so fällt sie vor der ersten nieder und wird durch diese an jeder fernern Bewegung gehindert. Auf solche Weise bildet man die untere Schicht, und geht demnächst in derselben Art zu der zweiten über, die nach der gewählten Dossirung um 4 bis 5 Fufs gegen die erste zurückspringt.

Wenn die Schicht den Uferrand nicht erreicht, so wird sogleich der freie Raum zwischen beiden bis zur Höhe der erstern mit Kies ausgefüllt. In dieser Weise setzt sich der Bau fort bis man das Niveau des niedrigen Sommerwassers erreicht. Alsdann geht man zum Aufbringen der Senksteine auf die äufsere Böschung der Senkfaschinen über, und damit dieses möglichst gleichmäfsig erfolgt, so geschieht es wieder von einem Flofs aus, das in der Länge und Breite in gleichen Abständen mit Oeffnungen ver-

sehn ist. Durch jede der letztern wird eine gleiche Quantität Steine hindurchgeworfen.

Um den so gebildeten Damm von Senkfaschinen auf der innern Seite nicht zu stark überhängen zu lassen, und um zugleich seinen untern Theil möglichst zu sichern, sieht man sich oft gezwungen hier sehr lange Senkfaschinen zu verwenden, oder da solche, wenn sie länger als 18 Fuſs sind, nicht mehr gleichmäſsig herabgestürzt werden können, so muſs man zuweilen hinter die erste Schicht, und zwar in gleicher Höhe mit derselben, noch eine zweite versenken. Fig. 94. *a* zeigt das Deckwerk im Querprofil.

Wenn endlich der unter Wasser liegende Theil des Deckwerks beendigt ist, so gleicht man die obere Fläche desselben eben so wie bei den Buhnen mit einer Strauchlage aus, die im Innern durch aufgenagelte Würste, an der äuſsern Kante, welche die Grundlage des Bankets bildet, aber durch 2 Flechtzäune befestigt wird, die einen Zwischenraum von 2 Fuſs zwischen sich frei lassen. Dieser wird mit Steinen sorgfältig ausgepackt, um den Fuſs des dagegen lehnenden Steinpflasters zu sichern. Das Pflaster erhebt sich etwa 6 Fuſs über das niedrige Sommer- oder 4 Fuſs über Mittelwasser, und wenn die Uferhöhe noch gröſser ist, so pflegt sich eine Rasen-Bekleidung daran anzuschlieſsen.

Wenn ein solches Deckwerk einem besonders starken Stromanfall ausgesetzt ist, so wird dasselbe noch durch Böschungs-Köpfe oder Strom-Schwellen geschützt, die in normaler Richtung vortreten. Man erreicht dadurch den wesentlichen Vortheil, daſs die Strömung von dem Ufer entfernt, also starke Vertiefungen daneben verhindert werden. Solche bilden sich aber auch nicht vor den Köpfen, weil diese so flach abfallen, daſs Wirbel daselbst nicht eintreten können. Diese Böschungsköpfe sind am Nieder-Rhein 20 bis 25 Ruthen von einander entfernt, und fallen, wie dieselbe Figur zeigt, von dem niedrigen Sommerwasser bis zur Sohle des Bettes mit 4, bis 6füſsiger Böschung ab. Sollte aber ohnweit ihres Fuſses noch eine tiefere Rinne davor liegen, so wird im Zusammenhange mit ihnen auch diese verbaut. Da man ihnen nur eine Kronenbreite von 6 Fuſs giebt, so läſst sich ein aus leichterm Material bestehender Kern, wie bei Buhnen, darin nicht darstellen, sie werden vielmehr, wie das Querprofil Fig. 94. *b* zeigt, ganz aus Senkfaschinen erbaut. Ihre Seiten-Böschungen sind wieder $1\frac{1}{2}$ bis 2füſsig,

und ein Steinbewurf, wenigstens von 1 Fuſs Stärke, darf auch bei ihnen nicht fehlen.

Bei Uferdeckungen, die in solcher Art ausgeführt sind, kommen Beschädigungen nicht vor, dagegen giebt es viele ältere, die im Ganzen sich gut gehalten haben, bei denen aber dennoch wegen mangelhaften Schutzes der unter Wasser liegenden Dossirung Grundbrüche eintreten und das Pflaster stellenweise sich löst und herabstürzt. Indem man der weitern Ausdehnung solcher Schäden möglichst schnell Einhalt thun muſs, und die Faschinendämme, wobei die Faschinen normal gegen das Ufer versenkt werden, theils wegen mangelnden Raumes und theils wegen der im Grunde liegenden alten Packwerke sich nicht ausführen lassen, so umgiebt man in derjenigen Entfernung, in welcher der Fuſs der gewählten Dossirung die Sohle des Strombettes trifft, die schadhafte Stelle mit einem Damm aus Senkfaschinen, wobei diese jedoch in der Längenrichtung des Dammes liegen, hinterfüllt letztern mit Kies, und geht in dieser Weise bis zum niedrigen Sommerwasser herauf, wie Fig. 95. zeigt, worauf wieder der Steinbewurf nebst dem Banket dargestellt, und das Pflaster über Wasser ausgeführt wird.

Ich muſs erwähnen, daſs ich die Mittheilungen über die in neurer Zeit im Preuſsischen Theile des Rheins zur Anwendung gekommnen Methoden der Stromregulirung, die sich vollständig bewährt haben, dem Strom-Baudirector Nobiling verdanke, der diese Bauten leitet, und der auch vor Kurzem die Freundlichkeit hatte, auf allen wichtigeren Baustellen mich herumzuführen.

Nachdem vorstehend von den Senkfaschinen die Rede gewesen ist, mag noch der Senkkörbe erwähnt werden, in welchen eben so, wie in jenen, gröſsere Kiesmassen zu einem untrennbaren Körper verbunden werden. Wenn bei plötzlichem Andrange des Wassers ein Bauwerk oder ein wichtiges Ufer bedroht wird, greift man gewiſs nach allen Gegenständen, deren man sich bemächtigen darf, und die einigen Schutz bieten. In dieser Weise wurde ohnfern des Rheins bei unerwartetem Anschwellen der Ruhr ein neben dem hart bedrohten Ufer stehendes Gebäude dadurch gesichert, daſs aus einer benachbarten Fabrik groſse Körbe entnommen, mit Kies gefüllt und versenkt wurden. Soviel aber bekannt, sind nur von dem Französischen Ingenieur Defontaines behufs Coupirung verschiedener Arme des Oberrheins zu solchem Zweck besondre Körbe in

mannigfaltigen Formen angefertigt, und nachdem sie mit Kies gefüllt waren, versenkt worden. *) Obwohl man von dieser Costructionsart nie wieder Gebrauch gemacht hat, da sie ohne Zweifel viel kostbarer und weniger solide ist, als Senkfaschinen, so rührten dennoch die Zerstörungen, welche die damit ausgeführten Stromregulirungswerke bald erfuhren, mehr von der unpassenden Anordnung der Bauten selbst, als von der Unhaltbarkeit der Körbe her. Eine kurze Beschreibung der letztern dürfte sich daher rechtfertigen.

Diese Senkkörbe bestanden sämmtlich aus runden Stäben, die mit Weidenruthen umflochten und durch diese verbunden waren. Fig. 116. *a*, *b* und *c* auf Taf. XIV. stellt einen solchen von prismatischer Form in der obern und in den beiden Seiten-Ansichten dar, und zwar zeigt die eine Hälfte jeder Figur die äufsere Ansicht und die andre den Durchschnitt. Die Körbe waren im Lichten etwas über 6 Fufs lang, 3 Fufs breit und 2 Fufs hoch. Sie faſsten nahe 40 Cubikfufs Kies. Ihre Anfertigung geschah in der Art, dafs man den Boden, so wie den Deckel besonders bildete. Zur Darstellung des ersten wurden die Stäbchen mit den zugespitzten Enden in Abständen von nahe 6 Zoll in den Erdboden gesteckt, und alsdann wie gewöhnliche Körbe mit Ruthen umflochten. Nachdem der Boden fertig war, legte man ihn flach nieder und stiefs diejenigen Stäbe hindurch, welche die Seitenwände bilden sollten. Sie wurden über alle vier Seiten im Zusammenhange umflochten. Endlich drückte man den eben so, wie den Boden, angefertigten Deckel über die auch am obern Ende zugespitzten Stäbe der Seitenwände. Zur Verbindung des obern Bodens mit dem untern schob man über und unter die langen Seiten derselben Stangen, und verband diese durch Weidenruthen mit einander. Der Korb war alsdann fertig, und wurde auf jene drehbare Klappe zwischen den beiden Fahrzeugen gestellt, die, wie oben erwähnt, zum Abstürzen der Senkfaschinen diente. Im obern Boden hatte man indessen beim Ausflechten eine Oeffnung frei gelassen, auch die Stäbe in derselben ausgeschnitten. Durch diese wurde der Korb, nachdem er schon auf die Schiffe gebracht war, mit Kies angefüllt, und schliefslich schob man durch diese Oeffnung, die etwas länger als breit war,

---

*) *Travaux du Rhin par Defontaines*, in den *Annales des ponts et chaussées*. 1833. II. p. 1.

noch ein Stück Flechtwerk ein, welches die Oeffnung reichlich schlofs, und durch Weidenruthen festgebunden wurde.

Der in Fig. 117. dargestellte Senkkorb, der mit dem ersten gleiche Länge hat, ist etwas fester als jener, weil seine drei langen Seiten im Zusammenhange geflochten sind. Am einfachsten in der Construction und zugleich am festesten ist jedoch der in Fig. 118. *a* im Querdurchschnitt und 118. *b* in der Seitenansicht und im Längendurchschnitt dargestellte Senkkorb. Zehn starke Zweige von 9½ Fufs Länge bindet man an ihren Enden zusammen. Alsdann schiebt man einen hölzernen Reif von etwa 20 Zoll Durchmesser in der Mitte zwischen die Zweige ein, und vertheilt letztere recht gleichmäfsig um denselben. Nunmehr umflicht man wieder mit Weidenreisern von beiden Enden aus nach der Mitte hin diese Zweige, wobei jedoch eine Oeffnung zum Füllen frei bleibt, welche auch zur Vollendung des Flechtens nothwendig ist. An beiden Enden des Korbes kann man indessen das Flechtwerk nicht weit genug fortsetzen, um einen gehörig dichten Schlufs hervorzubringen, man schiebt daher von innen noch Stroh-Büschel ein, welche das Herausfallen des Kieses verhindern. Vor der Füllung stöfst man endlich zwei Stöcke durch den Korb, wie die Figur zeigt, um zu verhindern, dafs er nicht etwa durch den Strom fortgerollt werden möchte. Die Füllung mit Kies erfolgt wieder in der schon beschriebenen Weise.

Es entsteht die Frage, ob die beschriebenen Senkkörbe so fest sind, dafs sie wirklich den eingefüllten Kies zusammenhalten, und ob sie nicht vielleicht gleich beim Herabstürzen zerbrechen. Da ihr Gewicht bei der vierseitigen prismatischen Form gegen 40 Centner beträgt, so sollte man das Letzte in der That vermuthen. Defontaines giebt an, dafs nur etwa der zwanzigste Theil aller Körbe beschädigt sei, und auch diese wären nicht verloren, sondern man hätte sie, nachdem der Kies herausgefallen, wieder aufgefangen und aufs Neue gefüllt. Im Badenschen erzählte man mir dagegen den Verlauf der Sache ganz anders, und wiederholentlich hörte ich die Behauptung, dafs, so oft man Körbe versenkt hätte, dieselben in grofser Menge den Rhein herabgeschwommen und gegen die Ufer getrieben wären, so dafs sie gesammelt und als Brennholz verbraucht seien.

Eine andre Methode, den Kies zu gröfsern Massen zu verbin-

den, besteht darin, dafs man Mörtel zusetzt und ihn in Béton verwandelt. Dieses Verfahren, welches ohne Zweifel eine weit grössere Sicherheit, als das zuletzt beschriebene gewährt, hat man vielfach bei Hafenbauten angewendet. Bei Strombauten ist davon wohl nie Gebrauch gemacht worden, wenn auch zuweilen die Fugen im Pflaster mit Cement-Mörtel verstrichen werden.

§. 33.

Packwerksbau im Allgemeinen.

Bei Vergleichung des Packwerks- oder Faschinenbaues mit dem Steinbau ist zunächst der Kostenpunkt zu betrachten. In den norddeutschen Ebnen und noch mehr in den eigentlichen Niederungen ist das Vorkommen von grofsen Steinmassen selten, und solche sind daher nur für hohe Preise zu beschaffen. Das Strauchmaterial ist dagegen gemeinhin in diesen Gegenden ziemlich wohlfeil, und die Buschpflanzungen, woraus es entnommen wird, sind für die Ufer noch von wesentlichem Nutzen, in sofern sie zum Schutz derselben dienen und durch Auffangen des Sandes die Erhöhung der niedrigen Stellen neben dem Flufsbette befördern. Das Schneiden oder Abtreiben des Holzes ist für Buschpflanzungen nicht nur unschädlich, wenn es in passender Jahreszeit und in angemefsnen Perioden vorgenommen wird, sondern sogar nothwendig, weil sonst stärkere Stämme sich bilden, die weder dem Stofs des Eises Widerstand leisten, noch auch die zunächst über dem Boden eintretende Strömung so mäfsigen, dafs das vom Wasser beigeführte Material aufgefangen wird. Um den Zweck der Strauchpflanzungen zu sichern, müssen dieselben daher alle zwei bis vier Jahre abgetrieben werden, und das dabei gewonnene Material deckt in vielen Fällen den ganzen Bedarf zur weitern Fortsetzung der Strombauten oder liefert wenigstens einen grofsen Theil desselben.

Demnächst ist der Faschinenbau, wenn er mit Vorsicht ausgeführt wird, keineswegs als eine zweifelhafte und leicht vergängliche Constructions-Art anzusehn. Die Buhnen und Uferdeckwerke aus Faschinen bilden vielmehr, der Feinheit des Materials ohnerachtet, eine Masse, welche wohl an den äufsern Flächen vom Strom

angegriffen und vom Eise abgestofsen wird, die aber nicht leicht durchbrochen werden kann. Selbst wenn der Strom in Folge eines besonders starken Angriffs an einzelnen Stellen vertiefte Rinnen darin gebildet hat, setzt sich die Zerstörung doch nur langsam fort, und wenn man die Reparaturen nicht unterläfst, sobald der Wasserstand sie erlaubt, so kann man diese Werke leichter vor einem Durchbruch sichern, als die massiven, deren Zerstörung sehr schnell und oft plötzlich zu erfolgen pflegt, wenn zufällig die abgepflasterte Decke durchbrochen wird.

Die erwähnten Umstände haben dem Faschinenbau bei uns allgemeinen Eingang verschafft, und der kräftige Widerstand, den sie dem Angriff des Stroms und Eises entgegensetzen, hat jede Besorgnifs in Bezug auf ihre Dauer unterdrückt. Nichts desto weniger bemerkt man doch nach einigen Jahren, dafs die Köpfe der Buhnen und häufig auch ihre Seitendossirungen von dem vorbei- oder darüberströmenden Wasser und Eise angegriffen werden, besonders aber leiden dabei die höchsten Theile oder die Kronen der Werke, die ohne besondern Schutz nicht zu halten sind. Diesen Schutz giebt man ihnen gemeinhin durch Bepflanzung mit Weidenstrauch, und dasselbe scheint auch anfangs vollkommen zu genügen, wenn nicht etwa anhaltendes Hochwasser oder ein langer besonders niedriger Wasserstand zum Absterben der jungen Pflanzreiser Veranlassung giebt. Wenn aber auch solche ungünstige Umstände nicht eintreten, so ist es unmöglich, die Strauchpflanzung auf den Werken für die Dauer regelmäfsig zu erhalten. An einzelnen Stellen wird sie durchbrochen, während sie an andern, wo der Strom mäfsiger ist, üppig fortwächst und zur Ablagerung von grofsen Sandmassen Veranlassung giebt, die sich bald über die ursprüngliche Krone der Buhne erheben, und indem das Strauch immer von Neuem durch den Sand hindurchwächst und sich darin weiter ausbreitet, so entstehn Unregelmäfsigkeiten, die oft eben so grofs sind, als diejenigen, welche man durch die Stromregulirung beseitigen will. Dazu kommt noch, dafs die Köpfe der Buhnen nach und nach immer steiler werden und abbrechen, folglich die regelmäfsige Beschränkung des Strombettes mit der Zeit verschwindet, und man nach zehn oder funfzehn Jahren gezwungen ist, dieselbe Stromstrecke aufs Neue zu verbauen.

Wenn diese Darstellung mit derjenigen Ansicht im Widerspruch

steht, die früher bei uns allgemein als richtig anerkannt wurde, und auch heutiges Tages noch manche Anhänger findet, so darf nur auf diejenigen Ströme hingewiesen werden, an welchen der Faschinenbau sich besonders bewährt haben soll, wo man aber, soweit es irgend geschehn konnte, in neurer Zeit wenigstens die Kronen mit Steinen bedeckt hat. Auch in den Niederlanden hat man sich überzeugt, dafs die Unterhaltung der Deckwerke und Buhnen, wenn sie nur aus Faschinen und Erde bestehn, überaus kostspielig ist.

Der Faschinenbau steht noch in andrer Beziehung der Stein-Construction nach. Wenn man ihn ganz rein und ohne Anwendung einer Steindecke durchführen will, so müssen die Kronen der Werke in einer solchen Höhe liegen, dafs die Buschpflanzung auf denselben weder aus Mangel an Feuchtigkeit, noch auch in Folge anhaltender Ueberfluthungen abstirbt. Durch diese Bedingungen wird ihre Höhe auf so enge Grenzen beschränkt, dafs man sie in vielen Fällen nicht so tief herab, oder so weit herauf führen kann, als die Stromregulirung fordert.

Endlich läfst sich der gewöhnliche Faschinenbau nur bei niedrigem Wasserstande, das heifst bei einem solchen ausführen, der die beabsichtigte Kronenhöhe noch nicht erreicht, und ein heftiger Strom erschwert ihn oft selbst in diesem Falle, wogegen das Versenken der Steine und Senkfaschinen beim Bau massiver Werke auch bei höherm Wasser und in starker Strömung ausführbar ist.

Ohnerachtet dieser Uebelstände ist der Faschinenbau dennoch bei Stromregulirungen so wichtig, und häufig auch so nothwendig, dafs eine genaue Beschreibung desselben nicht umgangen werden darf. Wenn man aber die aus Faschinen erbauten Werke nicht bepflanzt, sondern sie durch Steindecken schützt, oder wo möglich die Kronen und obern Theile der Dossirungen abpflastert, so verschwindet nicht nur der gröfste Theil der erwähnten Mängel, sondern man erreicht hierdurch sogar mehr Festigkeit und Dauerhaftigkeit, als wenn die Buhne im innern Körper nur aus Kies besteht.

Das Strauch oder das Faschinenholz hat ein so geringes specifisches Gewicht, dafs es ohne weitere Belastung nicht angewendet werden darf. Es ist aufserdem aber auch nöthig, die Zwischenräume zwischen den Reisern auszufüllen, um das Durchfliefsen des Wassers durch das Werk zu verhindern, wodurch die Festigkeit des dünnen Holzes leiden würde. Es mufs sonach jedesmal ein feineres

oder gröberes Beschwerungs-Material beim Faschinenbau in Anwendung kommen. Dieses kann auf verschiedne Weise geschehn. Das Beschwerungs-Material wird nämlich entweder in jedes einzelne Strauchbündel eingebunden. Dadurch entstehn die Senkfaschinen, von welchen schon die Rede war. Man kann aber auch grofse Massen von Strauch auf besondern Rüstungen mit einander verbinden, die auf dem Wasser schwimmend nach der Baustelle geführt und durch aufgeworfene Steine oder andres Material versenkt werden. Dieses sind die Senkstücke, welche beim Seebau beschrieben werden sollen, weil sie vorzugsweise an der Meeresküste Anwendung finden. Endlich verbindet man die Faschinen auf der Baustelle selbst zu dünnen Lagen und versenkt diese durch Ueberschüttung mit gröberm, oder gewöhnlich mit feinerm Beschwerungsmaterial. Die letzte Methode findet bei Stromregulirungen vorzugsweise Anwendung, und man nennt sie Packwerksbau. Die auf solche Weise erbauten Werke, mögen es Buhnen- oder Parallel- oder Uferdeckwerke sein, heifsen Packwerke.

Bei Ausführung derselben ist besonders darauf zu achten, dafs in den einzelnen Lagen die Faschinen gleiche Richtung haben, weil sie nur in diesem Falle in einander greifen und sich dadurch verbinden. Damit aber das feine Beschwerungs-Material nicht ausgespült wird, mufs dasselbe von der folgenden Lage überdeckt werden. Wählt man flachere Seitendossirungen, so bleibt nur übrig, die Wipfelenden nach aufsen zu legen, bei steilen Dossirungen, wie in den Niederlanden geschieht, sind die Stammenden nach aufsen gekehrt. Da aber sowol feineres, wie gröberes Material von stark geneigten Flächen herabgleitet, so darf keine Lage steil abfallen.

Man findet schon in ältern Schriften über den Strombau manche Andeutung dieser Erfordernisse, das methodische Verfahren, wodurch denselben möglichst genügt wird, kam indessen erst in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts, und zwar am Preufsischen Nieder-Rhein zur Anwendung. Im Jahre 1750 setzte der Wasserbaumeister Bilgen ausführlich auseinander, dafs die bisherigen steilen Packwerke, welche das Ufer vor Wesel sichern sollten, keinen nachhaltigen Erfolg haben, und man daher eine zweckmäfsigere Methode wählen müsse. Er schlug ein andres Verfahren vor, welches sich von dem frühern vorzugsweise dadurch unterscheidet, dafs die Lagen nach dem Versenken möglichst wenig geneigt sind und das

ganze Werk einige Seitenböschung erhält. Die Aenderung war so bedeutend, dafs wohl manche Zweifel dagegen erhoben sein mögen. Friedrich II. untersuchte selbst den Gegenstand bei seiner Anwesenheit in Wesel und genehmigte Bilgen's Vorschlag. Seit dieser Zeit wurden die dortigen Bauten in solcher Weise ausgführt, und es ist bei dem eigentlichen Packwerksbau seitdem keine wesentliche Aenderung eingeführt worden.

Die verbesserte Constructionsart scheint indessen nicht sobald bekannt geworden und auf andre Ströme übertragen zu sein. Silberschlag *) behandelt in seiner Hydrotechnik, die 20 Jahre später erschien, den Faschinenbau so kurz, als ob es auf die Art, wie die Faschinen ausgeworfen und die Lagen angeordnet werden, gar nicht ankäme. In derselben Zeit machte Schemerl eine Reise durch das nördliche Deutschland, und erklärte **) die Arbeiten, die er von Uerdingen abwärts bis an die Holländische Grenze gesehn, für die Hauptschule des Strombaues. Die Methode, welche er empfiehlt und speciell beschreibt, ist, wie er selbst sagt, keine andre, als diejenige, welche er hier kennen lernte und welche Bilgen eingeführt hatte, dessen er auch erwähnt. Ausführlicher und in mancher Beziehung viel vollständiger als Schemerl hat Eytelwein ***) dieselbe Constructionsart beschrieben und ihr im ganzen nördlichen Deutschland Eingang verschafft.

§. 34.
Material des Packwerksbaues.

Unter den Materialien, die zum Packwerksbau erforderlich sind, verdient das Strauch zunächst Erwähnung. Die einzelnen Reiser müssen nicht zu kurz sein, weil ihre Verbindung sonst zu unsicher ausfallen würde. Sie dürfen ferner weder verfault, noch verrottet, noch auch besonders spröde sein, damit sie sich biegen können,

---

*) Ausführlichere Abhandl. der Hydrotechnik. I. Th. 1772. S. 223 ff.

**) Abhandlung über die vorzüglichste Art, an Flüssen und Strömen zu bauen. Wien 1782.

***) Praktische Anweisung zur Construction der Faschinenwerke. Berlin 1800.

ohne zu brechen. Es ist sogar vortheilhaft, wenn das Strauch dem Drucke leicht nachgiebt, und sonach an allen Stellen durchbiegt, wo es nicht vollständig unterstützt ist. Hierdurch gelingt es am sichersten, alle Höhlungen und freien Räume im Werke auszufüllen. Dieses ist der Grund, weshalb keine starken Aeste zur Packung benutzt werden dürfen.

Die sämmtlichen Holzarten sind zwar nicht gleich brauchbar, doch giebt es wohl keine, welche ganz unbrauchbar zum Faschinenbau wäre. Die Festigkeit und Dauerhaftigkeit ist besonders zu beachten, wenn indessen das Werk fertig ist, und sich vollständig gesetzt hat, auch vom feinen Beschwerungs-Material durchzogen ist, so dient das Holz nur um das eingeschlofsne Beschwerungs-Material zusammen zu halten, während dieses durch sein Gewicht dem Druck und Stofs des Wassers und Eises Widerstand leisten mufs. Hat man aufserdem das Werk mit einer Steindecke umgeben, so kommt die Festigkeit des Holzes noch weniger in Betracht, und wird nur in Anspruch genommen, wenn die Decke durchbrechen sollte. Auch die weichen Holzarten behalten während einer langen Reihe von Jahren genügende Festigkeit, wenn sie immer nafs bleiben und dem unmittelbaren Angriff des Stroms nicht ausgesetzt sind, oder vom fliefsenden Wasser nicht berührt werden. Man überzeugt sich hiervon leicht, wenn man gezwungen ist, alte Faschinenwerke zu beseitigen.

Aus den angeführten Gründen wird das Weidenstrauch allgemein als ein durchaus brauchbares Material zum Packwerksbau angesehn. Andre weiche Holzarten, wie Ellern, Pappeln, Espen und dergl. dürften der Weide nur in sofern nachstehn, als sie etwas spröder sind. Hauptbedingung bleibt es indessen bei Anwendung jedes weichen Holzes, dafs das Strauch frisch verbraucht wird, weil die Sprödigkeit, die es beim Trocknen annimmt, nachtheilig wirkt und beim unvermeidlichen Biegen sogleich ein Brechen veranlafst. Hat das Strauch aber Monate hindurch und besonders in heifser Witterung gestanden, so tritt bei jedem weichen Holze noch ein andrer gröfserer Uebelstand ein, indem es dem Zutritt der Luft entzogen, in den dicht aufgestellten Faschinen-Haufen verrottet. Es geschieht alsdann wohl, dafs die Faschinen schon beim Aufheben zerbrechen. Ein solches Material läfst sich nur noch an denjenigen Stellen be-

nutzen, wo man die Sandschüttung auch unmittelbar und ohne Anwendung von Strauch vornehmen könnte.

In dieser Beziehung zeigen die harten Holzarten, wie Eichen, Buchen, Birken, Haselnufs und andre einen wesentlichen Vorzug. Sie verlieren zwar auch einen Theil der Biegsamkeit und Zähigkeit, die sie im frischen Zustande hatten, aber sie behalten viel länger den erforderlichen Grad der Festigkeit. Man thut daher wohl, in solchen Fällen, wo der Eintritt des günstigen Wasserstandes sehr unsicher ist, hartes Holz zu wählen.

Ein andrer Umstand, der bei der Wahl des Holzes in Betracht kommt, bezieht sich auf die gröfsere oder mindere Dichtigkeit, welche es beim Verpacken annimmt. Wenn die Dimensionen der einzelnen Reisbündel oder der Faschinen dieselben sind, so erhält die Faschine aus Weidenstrauch eine gröfsere Menge Holz, als die aus Eichen- oder Buchenzweigen gebundene. Dieses rührt davon her, dafs die Nebenzweige der letzten Holzarten nahe unter rechten Winkeln vom Hauptzweige ausgehn, während beim Weidenstrauch beide nur wenig divergiren. Hiernach fallen die hohlen Räume bei verschiednen Holzarten verschieden aus, und jedenfalls ist das zum Ausfüllen derselben erforderliche Quantum Beschwerungs-Material um so gröfser, je gröfser sie sind. Wenn das Packwerk aber in starken Lagen ausgeführt wird, und jene Zwischenräume sich daher nicht gehörig füllen können, so erfolgt ein stärkeres Setzen des ganzen Werks, oder man braucht eine gröfsere Anzahl Faschinen, wenn dieselben aus Buchen oder Eichen, als wenn sie aus Weiden, Pappeln, Haselnufs und dergl. bestehn. In Bezug auf die Festigkeit des fertigen Baues darf man die im einzelnen Reisbündel befindlichen Zwischenräume nicht als besonders nachtheilig ansehn, indem der Sand zwischen den sich kreuzenden Zweigen leicht eindringt. Häufig dürfen indessen die Lagen nur eine geringe Dicke erhalten, müssen aber dennoch beim Auftreten der Arbeiter noch schwimmen. In diesem Falle ist es vortheilhaft, wenn die Reiser in den Faschinen nicht nur recht geschlossen liegen, sondern auch ein möglichst geringes specifisches Gewicht haben. Das Letzte geschieht, wenn die Faschinen bereits etwas trocken sind, und in Holland wird zu diesem Zweck zuweilen sogar Rohr zwischen das Strauch gebunden. Dieses Bedürfnifs tritt indessen nie für den ganzen Bau, gewöhnlich auch nicht einmal für die ganze Lage, sondern nur für

deren vordern Theil ein. Man kann daher, wenn die Faschinen nach den Holzarten gesondert sind, sie sämmtlich an gewissen Stellen zweckmäfsig verwenden.

Dabei entsteht noch die Frage, ob es vortheilhafter ist, belaubte oder unbelaubte Faschinen zu verpacken. Nachtheilig können die Blätter eben so wenig sein, als man einen besondern Nutzen sich von ihnen versprechen darf. Jedenfalls enthält aber eine stark belaubte Faschine, namentlich von Ellern und andrem Holz, dessen Blätter grofs und dick sind, bei gleichen Dimensionen weniger Holz-Material, als eine unbelaubte. Man überzeugt sich hiervon leicht, wenn man die in vollem Laube angelieferten Faschinen einige Zeit stehn läfst, und sie, nachdem die Blätter vertrocknet und abgefallen sind, nochmals mifst. Ihr Volumen ist alsdann auffallend kleiner geworden, als es früher war. Die Verkäufer bemühn sich daher immer, die Faschinen möglichst schnell abzuliefern, weil sie bald an Masse, und sonach bei den üblichen Ankaufs-Bedingungen auch an Werth verlieren. Für den Bau ist es aber vortheilhaft, dafs die nutzlosen Blätter nicht eben so wie das Reis bezahlt werden. Das Laub in den Faschinen ist indessen, hiervon abgesehn, nicht ohne Einfluſs auf den Bau. Ist dasselbe nämlich sehr reichlich in einer Lage vorhanden, so verhindert es das Eindringen des Senkmaterials. In manchen Fällen ist dieses vortheilhaft So wird z. B. der feine Sand durch das Laub sehr sicher auf den noch schwimmenden Lagen gehalten, während er durch unbelaubtes Strauch hindurchfällt und vom Strom fortgeführt wird. In andern Fällen, wenn nämlich die Packung schon auf dem Grunde liegt, ist es dagegen wünschenswerth, das Beschwerungs - Material gleichmäfsig in die Zwischenräume zu bringen. Ferner kommt hierbei noch der Umstand in Betracht, dafs auch die Luft zwischen den Blättern länger zurückgehalten wird. Die Lage schwimmt daher anfangs besser und erlaubt ein bequemeres Auftreten, während sie, nachdem sie vom Wasser durchzogen ist, um so sicherer fortsinkt. Endlich ist noch zu erwähnen, dafs die dichtbelaubte Faschine wegen der gröfsern Fläche, die sie bietet, einen stärkern Angriff vom Strom erfährt, als die trockne. An denjenigen Stellen, wo man die einzelnen Faschinen nur mit Mühe halten kann, wird man daher unbelaubtes Strauch wählen müssen.

In manchen Gegenden, wie z. B. in der Nähe von Magdeburg,

kommt besonders viel Dornbusch vor. Der Verwendung desselben steht an sich nichts entgegen, doch müssen die Arbeiter alsdann mit Handschuhen versehn werden, damit sie beim Antragen und Verlegen der Faschinen nicht die Hände verletzen.

Man meint häufig, dafs Faschinen aus Nadelholz untauglich zum Packwerksbau sind. Diese Ansicht ist im Allgemeinen nicht richtig und gilt nur für gewisse Fälle. Das Verhältnifs der körperlichen Masse der Nadeln zu der des Holzes stellt sich gröfser, als das des Laubes heraus. Die Nadel besitzt dagegen eine grössere Festigkeit und Dauer als das Blatt, sie trocknet auch nicht so schnell und man kann daher die Faschinen aus Nadelholz gemeinhin verpacken, bevor die Nadeln abgefallen sind. Ist dieses geschehn, so halten die Nadeln den Sand in derselben Art zurück, wie feine Zweige. Sodann hält man es häufig für nachtheilig, dafs die Faschine aus Nadelholz nicht cylindrisch oder konisch gestaltet, sondern flach ist, besonders findet dieses bei den fächerartigen Zweigen der Rothtanne (*Pinus picea*) statt, die in den östlichen Provinzen des Preufsischen Staats sehr häufig vorkommt. Dieser Umstand, verbunden mit der geringern Tragfähigkeit oder dem grösseren specifischen Gewicht der Faschinen aus frischem Nadelholz, verhindert freilich in manchen Fällen die Anwendung derselben, und namentlich im vordern Theil der Lage. In der Ueberdeckung oder der sogenannten Rücklage, und im hintern Theil steht ihrer Verwendung aber nichts entgegen. An der Elbe werden Kiefernzweige beim Packwerksbau nicht nur vielfach benutzt, sondern in gewisser Beziehung auch anderm Holz vorgezogen. Die Nadeln fallen nicht so leicht ab, und füllen die Räume daher besser, als die Blätter. Dazu kommt noch, dafs die bei Durchforstung der Wälder gewonnenen Faschinen, die gewöhnlich angeliefert werden, gröfsere Länge als Faschinen von Laubholz haben, woher die daraus gebildeten Lagen weiter vorgeschoben werden können.

Es ergiebt sich hieraus, dafs keine Holzart zum Packwerksbau ganz ungeeignet ist. Für den gröfsten Theil des Buhnenkörpers hat sogar keine vor der andern einen überwiegenden Vorzug, wenn nur das Holz gesund und nicht etwa schon verrottet ist. Nur in den äufsern Theilen der Lage mufs man in der Wahl vorsichtig sein, und es ist daher nothwendig, das Strauch bei der Ablieferung gehörig zu sortiren, auch die frühern und spätern Lieferungen dersel-

ben Holzart nicht auf einen Haufen zu stellen. Ich muſs aber noch bemerken, daſs man in den Niederlanden nicht nur, wie bereits erwähnt, statt des Strauches auch Rohr anwendet, sondern es geschieht daselbst wohl, daſs man sogar den Abfall der Faschinenhaufen, also die abgebrochnen Reiser, trockne Blätter und selbst Stroh und Heidegras zur Ausfüllung einzelner Unebenheiten im Innern des Baues verwendet.

Das Strauch wird beim gewöhnlichen Packwerksbau nicht lose aufgebracht, sondern es ist vorher in gleichmäſsigen Bündeln oder in Faschinen zusammengebunden. Da es aber in diesem Zustande bequemer auf Wagen und Schiffe verladen werden kann, so geschieht das Binden der Faschinen bei gröſsern Bauten nicht auf der Baustelle, sondern schon im Walde, wo das Strauch geschnitten wird. Es wird sonach gemeinhin die Lieferung gebundener Faschinen ausbedungen, und wenn die Gröſse derselben bestimmt ist, so läſst sich auch um so leichter die Masse des beigefahrenen Srauches beurtheilen, indem man die Faschinen nur zu zählen braucht.

Die Faschine enthält solche Dimensionen, daſs man sie bequem tragen und verlegen kann. Zu schwer darf sie nicht sein, da die Arbeiter auf dem angefangenen Werke keinen festen Tritt haben und daher auch nicht stark belastet werden dürfen. Dazu kommt noch, daſs auf den meist freiliegenden Baustellen die Faschinen schon bei mäſsigem Winde von diesem gefaſst und dadurch der Transport wie das Verlegen erschwert wird. Hiernach giebt man vielfach ihnen geringere Stärke, als die nachstehend bezeichnete. Sie lassen sich alsdann immer leicht zutragen, und unter günstigen Verhältnissen nimmt der Arbeiter zwei derselben zugleich auf. Sie werden neben der Baustelle in Haufen aufgesetzt und zwar so, daſs sie sämmtlich auf dem Stammende stehn. Der Arbeiter, der eine forttragen will, braucht sie nur gegen die Schulter zu lehnen und ihr Stammende etwas zu heben, wodurch sie sogleich auf seine Schulter fällt und diejenige Lage annimmt, worin sie am bequemsten getragen werden kann. Die Länge beträgt hiernach ungefähr 10 Fuſs, ihre Masse ist aber nicht gleichmäſsig auf die ganze Länge vertheilt, sondern der Schwerpunkt liegt näher dem Stammende, als dem Wipfelende. Der Durchmesser in der Mitte hält bei starkem Zusammenziehn der Faschine gewöhnlich 9 Zoll, während

er am Stammende gröfser ist und oft gegen 1 Fufs beträgt. Der Inhalt der Faschine stellt sich hiernach ungefähr auf 3 Cubikfufs.

Ueber die Anfertigung der Faschinen ist zu bemerken, dafs, wenn auch nicht alles eingebundne Strauch die ganze Länge hat, doch wenigstens ein grofser Theil desselben so lang sein mufs, als die Faschine. Man stellt oft die Bedingung, dafs wenigstens die Hälfte des Strauchs durch die ganze Länge hindurchreichen soll und nur die andre Hälfte aus kürzern Enden bestehn darf. Durchaus verwerflich ist es, wenn ein dicker Stock in die Mitte gelegt und kurzes Strauch herumgebunden wird, weil die Faschine biegsam bleiben mufs. Gemeinhin stellt man die Bedingung, dafs Zweige, die am Stammende $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser haben, nicht mehr eingebunden werden dürfen, oder doch wenigstens als das Maximum der zulässigen Stärke zu betrachten sind.

In sofern das Binden und Zurichten der Faschinen gewöhnlich von den Lieferanten besorgt, und häufig ungeübten Arbeitern überlassen wird, so pflegt es nicht mit besondrer Sorgfalt zu geschehn. Es kommt hierauf auch wenig an, da die Festigkeit des ganzen Baues nicht von den Bändern der einzelnen Faschinen abhängt, und diese nur beim Transport von Nutzen sind. Diese Bänder stimmen mit denjenigen überein, womit die Würste versehn werden, die später beschrieben werden sollen. Ein starkes Würgen oder Zusammenziehn beim Binden der Faschinen ist nur nöthig, wenn sie nicht sogleich verbraucht werden, und man besorgen mufs, dafs sie bis zum Verpacken stark eintrocknen und lose werden. Man pflegt jede Faschine zweimal zu binden. Das untere Band ist etwa $1\frac{1}{2}$ Fufs vom Stammende entfernt, während das andre ungefähr auf die halbe Länge der Faschine trifft, wie Figur 104. auf Taf. XIII. zeigt. Ein drittes Band ist nicht nur überflüssig, sondern sogar nachtheilig, indem dadurch gemeinhin die Verwendung von kurzem Strauch versteckt werden soll.

Bei Abnahme der Faschinen mufs man sich davon überzeugen, dafs sie wirklich die gehörige Quantität Strauch enthalten, die Dimensionen sind also zu prüfen. Wenn man, wie zum bequemen Aufnehmen der Faschinen erforderlich ist, dieselben in grofse Haufen und zwar aufrecht stellt, so kann man sich ohne Mühe davon überzeugen, ob sie die gehörige Länge haben. Ihre Stärke ist nicht so leicht zu ermitteln, und man mufs sich darauf beschränken, die

Probe an einzelnen vorzunehmen. Hierzu bedient man sich häufig eines eisernen Ringes Fig. 105, der mittelst eines Charniers geöffnet und um die Faschine gelegt werden kann. Diese Probe ist indessen unbequem, weil einzelne Reiser weit vorstehn, und überdies hat man dabei auch kein sichres Urtheil, da da Ring oft ganz gefüllt erscheint, während in der Mitte noch ein bedeutender Raum frei bleibt. Ich habe die in Fig. 106. dargestellte Vorrichtung vortheilhafter gefunden. An einen eisernen Ring ist eine Leine geknüpft, die um die Faschine geschlungen, und deren Ende alsdann durch den Ring hindurchgezogen wird. An dieser Leine befindet sich ein Knoten, der das richtige Maafs bezeichnet. Wenn derselbe also leicht durch den Ring hindurch gezogen werden kann, so ist die Faschine zu schwach. An sämmtlichen Faschinen kann diese Messung nicht vorgenommen werden, sie erfolgt nur an solchen, die nicht das richtige Maafs zu haben scheinen.

Die zu kurz oder zu schwach befundnen werden besonders aufgestellt, und ihr cubischer Inhalt im Ganzen durch den Baubeamten ermittelt. Es leuchtet ein, dafs beim Zählen und Sortiren leicht Unterschleife vorkommen können, woher hierzu nur zuverlässige Leute gebraucht werden dürfen.

Bei manchen Strombauten läfst man die angelieferten Faschinen zwar zählen, ihre Dimensionen bestimmt man aber durch Nachmessen einer gröfsern Anzahl derselben, die zusammengepackt werden. Im Magdeburger Regierungsbezirke wurden die Contracte auf Lieferung von Cubikruthen abgeschlossen, und nach dem Ausladen eines Fahrzeuges packte man im Beisein des Lieferanten, der wenigstens jedesmal zur Theilnahme aufgefordert wurde, eine Cubikruthe auf. Zu diesem Zweck wurden zwei Reihen Pfähle in den Boden eingestofsen, die einen lichten Zwischenraum von 12 Fufs frei liefsen. Die Länge der Pfahlreihen betrug 24 Fufs. Die sämmtlichen Faschinen wurden parallel gelegt und die Stirnseiten zeigten abwechselnd Schichten von Stamm und von Wipfelenden. Der Aufseher, der die Verpackung leitete, und auf derselben stand, mufste dafür sorgen, dafs keine hohlen Räume blieben, beim Betreten durch die Arbeiter erfolgte aber schon die gehörige Compression. Sobald rings umher die Höhe von 6 Fufs erreicht war, so hatte man die Cubikruthe dargestellt, und durch Abzählen ergab sich, wie viel Faschinen sie enthielt, wonach die ganze Ladung berechnet wurde.

Gewöhnlich gingen 9 Schock auf die Cubikruthe, selten nur 8, häufiger aber 10 und zuweilen sogar 11. Dabei ist es aber besonders nöthig, diejenige Dimension des Raumes, in welcher die Faschinen der Länge nach gelegt werden, recht grofs, wie in diesem Falle zu 24 Fufs anzunehmen, weil sonst eine gleichmäfsige Höhe nicht darzustellen ist, indem die Faschinen in der Mitte des Raums sich überdecken.

Zur Verbindung der Faschinen in den einzelnen Lagen des Packwerks dienen die Wippen oder Würste. Dieselben bestehn gleichfalls aus Strauchbündeln, die jedoch eine viel gröfsere Länge haben. Sie müssen fest gebunden und dabei recht biegsam sein, damit man sie auch in scharfen Krümmungen auflegen kann. Sie werden zuweilen, so wie die Faschinen, auf die Baustelle fertig angeliefert, da aber ihre Zurichtung mit grofser Vorsicht geschehn mufs, so erfolgt dieselbe gewöhnlich auf der Baustelle selbst.

Die Bänder, womit die Würste gebunden werden, stimmen ganz mit denjenigen überein, welche auch beim Faschinen-Binden gebraucht werden, und bestehn aus dünnen und recht zähen Weiden-Reisern. Man nennt sie Bindweiden. Man kauft sie besonders an und gemeinhin hält jedes Bund 2 Schock oder 120 einzelne Ruthen. Sie sind etwa 3½ Fufs lang und am Stammende gegen 7 Linien stark. Es ist nicht nöthig, dafs sie an den Wipfelenden gespalten sind, wie man zuweilen verlangt, im Gegentheil verdienen diejenigen den Vorzug, welche aus einem einzigen Triebe bestehn. Von besondrer Wichtigkeit ist es, dafs sie recht frisch sind, weil sie alsdann um so weniger brechen. Wenn unter der Rinde eine starke Ansammlung des Saftes stattfindet, so löst sich die Rinde leicht vom Holz, was nicht vortheilhaft ist, man mufs vielmehr dafür sorgen, den Saft von hier zu entfernen und ihn wo möglich in das Holz zu treiben. Dieses geschieht durch starke Erwärmung, indem man die Reiser entweder ans Feuer hält, oder sie bei warmem Sonnenschein auf dem Sande ausbreitet und einige Stunden hier liegen läfst. Wenn man sie aber erst nach einigen Tagen verbrauchen kann, so verschwindet der Saft von selbst, und bei längerm Aufbewahren, oder wenn das Holz überhaupt nicht saftreich war, so geschieht dieses in solchem Maafse, dafs die Reiser untauglich werden. Sind sie stark ausgetrocknet, so ist es unmöglich, ihnen die erforderliche Zähigkeit wieder zu geben. Sie verderben

aber auch, wenn man das Austrocknen durch vielfaches Uebereinanderpacken verhindert, denn in diesem Falle stockt oder verrottet das Holz. Wenn man daher gezwungen ist, sie wochenlang aufzubewahren, so ist es am besten, sie im Wasser zu versenken und unmittelbar vor dem Gebrauch am Feuer zu erwärmen. Es ist bekannt, dafs man durch ein ähnliches Verfahren sogar starke Hölzer biegen kann.

Indem die Faschinen wegen des bequemeren Transports gewöhnlich schon gebunden angeliefert werden, bei denselben ein besonders festes Binden auch keineswegs erforderlich ist, so braucht man auf den Baustellen nur die für die Würste nöthigen Bindeweiden zu beschaffen. Sehr leicht sind diese, so oft es nöthig ist, zu gewinnen, wenn die bei der Regulirung entstandnen Verlandungen zu Weiden-Culturen benutzt, oder in sogenannte Werder verwandelt, aber nicht verkauft oder an die Forst-Verwaltung abgetreten sind. Man kann die Ruthen alsdann zu jeder Jahreszeit schneiden lassen, wenn sie gleich im vollen Safte die gröfste Zähigkeit besitzen. Steht kein Weidenstrauch zur freien Disposition, so mufs man dasselbe aus Privat-Werdern ankaufen. Indem die Reiser aber leicht leiden und ein grofser Theil sich als unbrauchbar erweist, so empfiehlt es sich, die Lieferungs-Contracte in der Art abzuschliefsen, dafs nicht die angelieferten, sondern die wirklich verbrauchten Ruthen, und zwar unter Zugrundelegung der Anschlagssätze bezahlt werden. Wenn in diesem Falle auch höhere Preise gestellt werden, so liegt es im Interesse des Unternehmers, nur brauchbares Material zu liefern.

Da die Bindweide nicht nur um die Faschine oder die Wurst geschlungen, sondern viel schärfer gekrümmt werden mufs, so dafs ein förmlicher Knoten darin entsteht, so würde selbst eine zähe Ruthe brechen, wenn sie hierzu nicht besonders vorbereitet wäre. Diese Vorbereitung besteht darin, dafs die Holzfasern in der ganzen Länge der Ruthe eingeknickt und dadurch von einander getrennt oder gespalten werden, ohne dafs sie einzeln zerreifsen dürfen. Man erreicht dieses durch vorsichtiges Drehn. Der Arbeiter steckt die äufserste Spitze oder das Wipfelende, das nicht gedreht zu werden braucht, in die Spalte eines fest aufgestellten starken Stockes. Zuweilen tritt er auch nur mit dem Fufs auf die Spitze der Ruthe, was jedoch weniger bequem ist. Das Stamm-

ende der Ruthe behält er in den Händen und fängt an, dieses nach einer Seite zu drehn. Das Brechen des Holzes erfolgt zunächst an der dünnsten Stelle, also unmittelbar neben dem eingeklemmten Ende, und hier würde die Ruthe leicht ganz auseinander gedreht werden, wenn sie nicht mit einiger Kraft angezogen würde, wodurch man die Bildung von Knoten verhindert, die dem Bruch vorangehn. Auch durch Festhalten einzelner Stellen mit der linken Hand kann der Arbeiter, während er die Ruthe mit der rechten Hand immer in gleicher Richtung dreht, das Brechen allmälig weiter führen, so dafs endlich bis gegen das Stammende hin die Ruthe wie ein Tau gedreht und dadurch so biegsam geworden ist, dafs sie ohne zu brechen die schärfsten Krümmungen annimmt.

Auch die Vorbereitung der längern und stärkern Bänder zum Binden der Senkfaschinen geschieht in ähnlicher Art. Junge Triebe von Weiden haben für diesen Zweck nicht mehr die nöthige Festigkeit, man mufs vielmehr zweijährige Ruthen wählen, doch eignen sich hierzu festere Holzarten besser, wie Hasel, Birken, Eschen und selbst Eichen. Eine starke Erhitzung der Ruthe, die bei der Länge von 8 bis 10 Fufs auch dicker sein mufs, ist unerläfsliche Bedingung, und ein einzelner Arbeiter ist nicht mehr im Stande, die Ruthe zu drehn und zugleich dafür zu sorgen, dafs einzelne Stellen nicht zu stark gebrochen werden, oder reifsen. Man legt ein Brett auf den Boden und ein Arbeiter, der auf das regelmäfsige Fortschreiten der Drehung Acht haben mufs, tritt auf die Spitze der Ruthe und setzt den Fufs nach und nach weiter vor, um jede Stelle, die bereits hinreichend stark gedreht ist, der fernern Drehung zu entziehn, ein zweiter Arbeiter hält das Stammende in der Hand, und dreht es fortwährend in derselben Richtung. Dieses kann aber wegen des starken Widerstandes nicht mehr aus freier Hand durch blofses Umfassen der Ruthen geschehn. Er benutzt daher einen hölzernen Knebel, an welchen eine Leine von etwa $1\frac{1}{2}$ Fufs Länge gebunden ist. Diese Leine wird mit dem äussern Ende in einen Spalt gesteckt, der in das Stammende der Ruthe eingeschnitten ist, und indem die Leine mehrmals umgeschlungen und scharf angezogen wird, so klemmt sich das eingesteckte Ende fest, und der Knebel selbst legt sich beim weitern Umschlingen der Leine in der Art gegen die Ruthe, dafs er wie eine Kurbel benutzt werden kann. Der Arbeiter umspannt die Ruthe mit der linken

Hand, so dafs sie in dieser wie eine Achse in der Pfanne ruht, und mit der rechten Hand dreht er den Knebel im Kreise herum. Fig. 108. zeigt diese Befestigungs-Art von der Seite und von vorn. Man findet indessen nicht leicht Ruthen, welche bei der erforderlichen Länge, um Senkfaschinen von 3 Fufs Durchmesser zu umspannen, noch hinreichende Zähigkeit besitzen, so dafs sie sich in der erwähnten Art drehn lassen. Es bleibt alsdann nur übrig, zwei Bänder zusammenzustecken. Dieses geschieht, wie Fig. 128. *a* und *b* auf Taf. XVI. zeigt. Die kürzere Ruthe, welche die Länge der ersten ergänzen soll, wird, nachdem sie gedreht ist, zweimal gebogen (Fig. 128. *a*), alsdann dreht man die drei Stränge zusammen, so dafs ein kurzes Band entsteht, welches an jeder Seite mit einer Schleife versehn ist. Durch eine dieser Schleifen zieht man das längere Band, jedoch so, dafs das kürzere Band zugleich durch die an dem längern befindliche Schleife durchgesteckt wird. Figur 128. *b* stellt diese Verbindung dar, und zwar ist darin nur das kürzere Band als gedreht gezeichnet, damit es sich von dem längern deutlich unterscheidet. Durch weiteres Ausziehn legen sich die Enden von beiden Seiten fest gegen einander.

Da die Beschaffung der langen und starken Bänder für Senkfaschinen oft nicht leicht und ihre Vorbereitung immer mühsam ist, so wird in neurer Zeit hierzu, wie bereits erwähnt, geglühter Eisendraht von $1\frac{1}{2}$ Linien Stärke benutzt.

Zum Binden der Würste dient eine Rüstung, welche die Wurstbank heifst. Je zwei Pfählchen von etwa 5 Fufs Länge werden schräge in den Boden gestofsen, so dafs das darüber gelegte Strauch sich in der Höhe von $2\frac{1}{2}$ bis 3 Fufs über dem Boden befindet. Beide Pfähle werden durch eine Bindweide zusammengebunden und bilden einen Bock. Dergleichen Böcke werden in Abständen von 2 Fufs errichtet, wie Fig. 107. auf Taf. XIII. zeigt, und die Länge der ganzen Bank ist gewöhnlich derjenigen der längsten Würste gleich, die man darauf binden will, wodurch das Verlegen der angefangnen Würste vermieden wird.

Das Strauch, woraus die Wurst dargestellt werden soll, wird aus den Faschinen entnommen. Man löst zu diesem Zweck die Bänder derselben, und wählt solche, welche recht dünnes und langes Strauch von frischem und zähem Holz enthalten. Man schneidet auch wohl starke Seitenzweige ab, und sorgt überhaupt dafür, dafs

das Strauch, welches auf die Wurstbank kommt, recht lang, gerade und biegsam ist und sich dicht verpacken läfst. Dabei mufs erwähnt werden, dafs frische Kiefernzweige sich hierzu gleichfalls sehr gut eignen, und von manchen erfahrnen Kribbmeistern sogar jedem andern Holz vorgezogen werden. Zum Zurichten des Holzes, so wie zum Aufschneiden der Bänder an den Faschinen kann man gewöhnliche Taschenmesser, oder bei starkem Holz leichte Handbeile benutzen, so wie überhaupt zur Anfertigung der Faschinen und zum Abhauen des Strauchs keine besondern Werkzeuge unumgänglich nothwendig sind, nichts desto weniger bietet das in Fig. 103. dargestellte Faschinenmesser, welches am Oberrhein bei diesen Arbeiten allgemein benutzt wird, eine grofse Bequemlichkeit, indem es zugleich Messer, Beil und Hammer ist. Es ist mit Ausschlufs der Handhabe einen Fufs lang und die Schneide befindet sich an der untern Seite der Figur. Mit dem äufsern Theile derselben, der wie ein Gartenmesser gekrümmt ist, lassen sich besonders bequem die Bänder aufhauen, ohne das Strauch darunter zu verletzen. Der aufwärts gekehrte Kopf an der Seite des Rückens dient als Hammer und zugleich kann man damit, wie mit einem Haken, einzelne Reiser herausziehn.

Das ausgesuchte und vorbereitete Strauch wird auf der Wurstbank regelmäfsig verlegt, so dafs die Wurst überall gleiche Stärke und zwar von 4 bis 6 Zoll erhält, wobei besonders darauf zu achten ist, dafs die Stammenden der Reiser gehörig vertheilt sind, und nicht mehrere auf dieselbe Stelle treffen, wodurch die Festigkeit der Wurst leiden würde. Die Ruthen werden aber sämmtlich nach derselben Richtung gelegt, so dafs die Wipfelenden immer nach einer Seite gekehrt sind.

Das Binden der Wurst geschieht am regelmäfsigsten, wenn es an einem Ende begonnen und der Reihe nach ein Band nach dem andern umgelegt wird. Es ist indessen als kein wesentlicher Uebelstand anzusehn, wenn zur Beschleunigung der Arbeit auch an verschiednen Stellen gleichzeitig gebunden wird. Man mufs aber alsdann mit dem Verstecken der Enden von den Bändern vorsichtig sein, damit dieselben nicht ausspringen und die Bänder sich lösen. Die Binderuthe nimmt bald eine gewisse Steifigkeit an, besonders wenn sie stark erwärmt war, man mufs daher dafür sor-

gen, dafs die vorbereiteten Ruthen nicht lange liegen, vielmehr recht schnell verbraucht werden.

Das Auflegen eines Bandes geschieht in folgender Art. Der Arbeiter bildet an dem Wipfelende der gedrehten Ruthe eine Schleife, wie Figur 109. zeigt. Er legt diese auf die Wurst, so dafs das Stammende der Ruthe von ihm abgekehrt ist, letzteres schlingt er um die Wurst, steckt es durch die Schleife und zieht es so stark an, wie dieses aus freier Hand geschehn kann. Ein starkes Einschnüren oder vollends ein festes Würgen, wie bei den Senkfaschinen, ist aber hier nicht nur ohne Zweck, sondern sogar nachtheilig, weil die Wurst später mit kleinen Pfählchen an die Faschinen genagelt wird, und das Band beim Eintreiben des Pfahles zerreifst, wenn es schon früher möglichst scharf angezogen war. Das durch die Schleife gesteckte Stammende der Ruthe dreht der Arbeiter wieder in derselben Richtung, in welcher es schon früher gedreht ist, und indem die Windungen sich gegen einander drängen, bildet sich von selbst ein Knoten, das Schlofs genannt. Mit dem Drehn wird aber fortgefahren, bis eine zweite Windung sich unter den bereits gebildeten Knoten legt und von diesem fest angedrückt wird. Figur 110. zeigt den Knoten von der Seite und von oben. Das Stammende der Ruthe wird alsdann versteckt, und zwar geschieht dieses entweder in der Art, dafs man es unter demselben Bande hindurchzieht, wie die Figur zeigt, oder, was noch leichter ist, man steckt es in das Strauch der Wurst und legt das folgende Band darüber. Dieses ist der Grund, weshalb es vortheilhaft ist, in ununterbrochner Reihenfolge ein Band nach dem andern aufzubringen. Die beschriebne Art des Bindens erlernen die Arbeiter gewöhnlich sehr schnell, weil das Binden der Garben in gleicher Weise geschieht. Wenn durch diese Beschreibung und Zeichnung das Verfahren nicht klar geworden sein sollte, so kann man sich durch Drehn einer Leine leicht davon überzeugen, wie der Knoten entsteht und die zweite Windung desselben sich unter die erste schiebt.

Der Abstand der Bänder von einander beträgt 8 Zoll, es ist aber nicht nöthig, diese Entfernung jedesmal abzumessen, die Arbeiter können sich vielmehr mit hinreichender Schärfe nach den Böcken richten, wenn diese regelmäfsig aufgestellt sind. In die Mitte zwischen je zwei Böcken kommt ein Band, und eines noch an jede Seite des Bockes, wie Fig. 107. zeigt.

Die über das Ende der Wurst vortretenden Wipfelenden des Strauchs werden, nachdem man einen Klotz untergeschoben hat, mit einem Beil oder dem Faschinenmesser abgehauen, und man kann auf dieselbe Art auch beliebige Enden von der Wurst abschneiden.

Am Preufsischen Niederrhein gebrauchte man früher statt der Würste auch Flechtbänder, die sich zuweilen billiger als jene darstellen lassen, und in jeder Beziehung eben so brauchbar und noch fester, als die Würste sind. Man dreht aus etwa drei Weidenruthen, deren Enden gehörig versteckt werden, einzelne Stränge, und drei derselben werden, wie Fig. 111. zeigt, zusammengeflochten. Das Drehn der Stränge geschieht aber gleichzeitig mit dem Flechten, weil lange Stränge die Arbeit sehr unbequem machen würden, auch die einzelnen Ruthen sich leicht lösen könnten. Da diese Bänder sich genau untersuchen lassen, so geschah ihre Anfertigung gewöhnlich auf Accord, oder sie wurden schon fertig auf die Baustelle geliefert. In die Maschen derselben lassen sich die Faschinen-Pfähle gut eintreiben, und man kann diese Bänder, wenn man sie dem Zutritt der Luft aussetzt, auch ohne Nachtheil länger, als die fertigen Würste aufbewahren.

Es bleibt noch übrig, der andern Materialien zu erwähnen, die zum Packwerksbau benutzt werden. Dieses sind kurze Pfählchen und das Beschwerungs-Material.

Zur Verbindung der Würste mit den Faschinen, zuweilen auch wohl der letztern unter sich, dienen die Faschinenpfähle, oder Spickpfähle, von 4 Fufs Länge und 1½ bis 2 Zoll Stärke. Man verwendet dazu häufig die stärkern Aeste, die beim Binden der Faschinen nicht benutzt werden können, wo aber das Nadelholz nicht theuer ist, stellen sie sich in der Regel wohlfeiler, wenn sie aus starkem Holz gespalten werden. In diesem Fall ist ihre Zurichtung einfacher, weil man keine Seitenäste abschneiden darf, und sie an sich schon hinreichend eben und gerade sind. Man braucht nur das eine Ende anzuspitzen und besonders auffallende Unebenheiten oder starke Splitter zu beseitigen.

Die Pfähle werden in die Würste mit der Hand eingesteckt und mit hölzernen Schlägeln herabgetrieben, so dafs sie gehörig weit in die darunter liegenden Faschinen dringen. Dabei ereignet es sich nicht selten, dafs beim Setzen eines neuen Pfahls daneben, oder

bei gleichzeitigem Auftreten mehrerer Arbeiter, die noch lose Faschinen-Packung den bereits eingetriebnen Pfahl soweit herabzieht, dafs die Verbindung mit der Wurst aufgehoben wird. Man verhindert dieses zum Theil schon dadurch, dafs man den Pfahl nicht zu tief einschlägt, ihn vielmehr etwa einen Fufs hoch über die Wurst vorragen läfst. Man erreicht dadurch noch den Vortheil, dafs die darüber gepackten Faschinen, welche zur folgenden Lage gehören, gegen die Pfahlköpfe treffen, und von diesen gehalten werden. Ausserdem versieht man aber auch zuweilen die Pfähle mit verschieden gestalteten Köpfen, welche das Herausziehn verhindern sollen. Fig. 112. stellt solche dar: *a* ist ein sogenannter Hackenpfahl, der leicht zugeschnitten wird, wenn man ein Stück von einem Seitenaste stehn läfst. Im gespaltenen Holze kann man durch Einsetzen eines kleines Pflocks, wie *b* zeigt, einen ähnlichen Vorsprung bilden. Dasselbe geschieht auch durch Kerben, wie *c* und *d*, von denen besonders die letzte sich empfiehlt. Es versteht sich, dafs alle diese Pfähle so eingestellt werden müssen, dafs die vortretenden Theile normal gegen die Richtung der Wurst gekehrt sind, damit die Haken oder Kerben sich gegen die Reiser lehnen. Man kann indessen diese Vorkehrungen entbehren, wenn man gewöhnliche Pfähle nicht senkrecht, sondern etwas schräg eintreibt, und zwar abwechselnd nach der einen und der andern Seite, wie Fig. 113. zeigt.

Was das Beschwerungs-Material betrifft, so hat man gemeinhin, wenn die Kosten nicht sehr gesteigert werden sollen, wenig Auswahl, und man mufs dasjenige nehmen, welches sich auf der Baustelle selbst und in deren unmittelbarer Nähe vorfindet. Man kann auch in der That sowohl Erde, wie Sand, Kies und Steine gebrauchen, nur Torf darf nicht verwendet werden, weil er theils zu leicht, theils aber auch zu fest ist, um in die Zwischenräume gehörig einzudringen.

Der Kies gilt gewöhnlich für das beste Beschwerungs-Material, weil er sich gut vertheilt, keine Klumpen bildet und nicht durch die noch schwimmenden Lagen hindurchfällt, besonders aber weil er nicht so leicht fortgespült wird, falls man gezwungen ist, eine Lage ohne Ueberdeckung zu versenken. Man findet ihn, wenn er auch sonst am Ufer nicht vorkommt, gemeinhin an denjenigen Stellen des Strombettes, wo die Strömung zur Zeit des Hochwas-

sers am stärksten ist. Fällt diese Stelle mit der tiefen Stromrinne zusammen, so kann man ihn nur durch Baggern gewinnen.

Der feine Sand dringt allerdings durch die Zwischenräume zwischen den einzelnen Reisern leicht hindurch, doch ist dieser Umstand nur so lange nachtheilig, als die Faschinenlage noch schwimmt, sobald sie auf dem Flufsbette oder auf andern Lagen ruht, hört das eigentliche Durchfallen auf, und der eindringende Sand bleibt zwischen den Reisern und füllt die Zwischenräume aus. Es ist eine bekannte Erfahrung, dafs Packwerke, welche mit Sand versenkt werden, sich weniger setzen, als solche, wobei gröberes Material verwendet ist, und dafs das Setzen im ersten Falle auch früher eintritt. Der feine Sand gewährt daher den Vortheil, dafs durch ihn in kurzer Zeit eine compacte Masse dargestellt werden kann. Hieraus folgt aber wieder, dafs das erforderliche Strauchquantum in diesem Falle geringer bleibt, als wenn bei gröberm Beschwerungs-Material die Lagen in sich zusammengedrückt werden.

Zuweilen mufs die Versenkung mittelst fetten und zähen Thons erfolgen, wie dieses namentlich ohnfern der Mündungen der verschiednen Rheinarme der Fall ist. Derselbe, so wie auch fetter Lehm, eignet sich am wenigsten zum Beschweren der Buhnen. Diese Erdarten zerfallen nicht, so lange sie noch trocken oder wenig feucht sind. Man mufs sie daher in Klumpen auf die Faschinenlagen aufbringen, und zunächst füllen sie daher keineswegs die Zwischenräume, bilden vielmehr eine sehr lockre Packung. Dieser Zustand hört indessen beim Hinzutreten des Wassers nach einiger Zeit auf, indem die Klumpen alsdann eine schlammige Masse bilden, die bei der schwächsten Durchströmung fortgeführt wird. Aus diesem Grunde pflegen die mit Thon beschwerten Buhnen besonders stark zu versacken, und man thut daher wohl, sie noch mit Sand, wenn dieser auch sehr fein ist, zu überschütten, sobald die Lagen auf den Grund herabgesunken sind.

Dafs man die äufsern Flächen des Werkes, also die Krone, die Dossirungen und besonders die Kopfdossirung sehr vortheilhaft mit Steinen bedeckt, ist bereits erwähnt worden, man kann aber auch gebrannte Steine und selbst Ziegelbrocken auf die Dossirungen bringen, um das äufsere Strauch gehörig herabzudrücken und dadurch das Beschwerungs-Material im innern Theil des Packwerks

vor dem Angriff des Stroms sicher zu stellen. Dieses Verfahren ist in den Niederlanden üblich.

§. 35.
Faschinen-Lagen.

Das Packwerk besteht aus einzelnen Faschinen-Lagen, und jede derselben wird mit Beschwerungs-Material bedeckt. Letzteres ist aber gemeinhin so fein oder löst sich im Wasser auf, wie dieses namentlich bei Erde und Thon der Fall ist, dafs es beim unmittelbaren Angriff des Stroms bald fortgespült wird. Man mufs also das Beschwerungs-Material selbst wieder bedecken, und dieses geschieht durch die folgende Faschinen-Lage, so dafs die Faschinen und deren Beschwerung sich gegenseitig überdecken. Dieser Bedingung wird am meisten entsprochen, wenn die Werke ganz steil ohne Seitendossirung aufgeführt werden, was in Betreff der Stabilität des Baues und zur Vermeidung der Wirbel nicht vortheilhaft ist, obwohl es in den Niederlanden gewöhnlich geschieht. Bei uns wird die Anordnung gewählt, dafs die heraustretenden Wipfelenden der Faschinen die äufsere Decke bilden, und ohne dafs sie selbst beschwert sind, das Beschwerungs-Material im Innern schützen. Doch auch hierdurch lassen sich flache Böschungen, weder am Kopfe noch an den Seiten des Werks darstellen. Als äufserste Grenze nimmt man gemeinhin die einfüfsige Dossirung an, welche in der Regel auch gewählt wird. Die vorragenden Wipfelenden der Faschinen werden aber nach und nach abgebrochen, da sie jedes Schutzes entbehren, und sobald diese äufsere Strauchdecke verschwindet, fällt das nächstliegende Beschwerungs-Material, das durch sie geschützt wurde, herab oder wird vom Strom fortgespült. So bildet sich von selbst eine neue Strauchdecke, die später gleichfalls durchbrochen wird. Besonders schnell erfolgt solche Abnutzung an den Stellen, wo ein heftiger Strom das Werk trifft.

An den Seitendossirungen ist diese Abnutzung gemeinhin nur geringe, und in vielen Fällen treten die Verlandungen zwischen den Buhnen nach wenigen Jahren ein, und verhindern den fernern Angriff. Der Kopf der Buhne zeigt aber meist sehr auffallende

Spuren der Beschädigung, besonders wenn er soweit vorgetrieben ist, dafs er die tiefe Stromrinne begrenzt. Er verliert nicht nur die Böschung, die er ursprünglich hatte, sondern, indem er abbricht, weicht er auch immer weiter zurück. Die steilere Böschung, die er annimmt, mufs man als eine Folge der Vertiefung des Bettes ansehn, die dadurch befördert wird, dafs der Kopf schon anfangs nicht flach genug angelegt war. Die nach und nach eintretende Verkürzung der Buhne ist aber eine Erscheinung, die sich überall wiederholt, wo man feines Beschwerungs-Material benutzt. Auch die Ueberdeckung mit Steinen bietet hiergegen keinen sichern Schutz, besonders wenn der Kopf der Buhne zufällig auf einer flachen Stelle erbaut war, die bei der durch die Buhne veranlafsten starken Strömung sich vertieft. In solchem Falle empfiehlt es sich immer, wie auch oft geschieht, den Kopf nicht auf die Fläche zu legen, sondern diese vorher durch Baggern zu vertiefen. Jedenfalls ist es aber vortheilhaft, wie schon oben (§. 29.) bemerkt worden, eine feste Marke in der Nähe der Wurzel anzubringen, auf welcher die Entfernung vom Kopfe deutlich bezeichnet ist, so dafs man bei jeder Reparatur die ursprüngliche Länge wieder darstellen kann. Bei Deck- und Parallelwerken ist die Ueberdeckung mit Steinen gleichfalls zur Sicherung der äufsern Dossirung sehr wichtig.

Beim Bau der Packwerke werden die einzelnen Faschinen-Lagen schwimmend gebildet. Während ihrer Zusammensetzung liegen sie also horizontal auf der Oberfläche des Wassers. Wie vortheilhaft es in mancher Beziehung auch sein würde, wenn sie immer horizontal gehalten werden könnten, so ist dieses doch nicht möglich, weil jeder feste Anschlufs, der im strömenden Wasser vor der Versenkung nothwendig ist, alsdann unterbleiben müfste. Die Lagen werden daher schräg herabgelassen, indem sie sich um die Seiten, wo sie angeschlossen sind, wie um feste Achsen drehn. Dabei ist es Bedingung, wie bereits erwähnt, dafs sie an keiner Stelle sehr steil stehn dürfen, weil sonst das aufgebrachte Beschwerungs-Material herabfallen würde. Je flacher indessen die Lagen versenkt werden, um so länger müssen sie sein, die Schwierigkeit ihrer Ausführung vergröfsert sich aber mit der zunehmenden Länge. Man mufs sonach die gröfste zulässige Neigung kennen, und diese jeder einzelnen Lage geben, und zwar mufs die Lage in ihrer ganzen Länge diese Neigung erhalten, also auch nach der Versenkung

eine Ebene bilden, die bis zum Strombett herabreicht. Man überzeugt sich leicht, dafs diese Bedingungen in aller Strenge nur erfüllt werden können, wenn jede Lage in ihrer ganzen Ausdehnung gleich stark ist. Andernfalls sind Unregelmäfsigkeiten und stellenweise stärkere Neigungen unvermeidlich.

Die gröfste noch zulässige Neigung dürfte etwa die zweifüssige Dossirung sein. Man bestimmt die Länge der einzelnen Lage, indem man sie im Profil als bereits versenkt einzeichnet und dabei die angenommne Neigung zum Grunde legt. Fig. 119. Taf. XV. stellt dieses dar. Dabei mufs die erwähnte Drehungsachse horizontal und zwar normal gegen die Richtung der Krone des Werks angenommen werden.

In der angegebnen Weise läfst sich leicht die Länge der Lage in der Mittellinie bestimmen. Aufserdem mufs man aber auch wissen, wie weit die Lage seitwärts über die Krone vorgreifen soll, oder man mufs ihre Form und Ausdehnung kennen. Die Lösung dieser Aufgabe ist jedesmal durch eine einfache Construction möglich und wird um so leichter, als es bei der Ausführung auf grofse Schärfe nicht ankommt, man daher kleine Unterschiede in den Tiefen nicht berücksichtigen darf, die gröfsern aber schon in die Profilzeichnungen eingetragen sein müssen. Am einfachsten sind die Verhältnisse, wenn die Tiefenlinien (d. h. diejenigen Linien, in welchen eine gleiche Tiefe stattfindet) die Längenrichtung des Werks normal schneiden, jede einzelne Lage ist alsdann symmetrisch gestaltet, indem ihre rechte Seite der linken congruent ist.

Fig. 120. *b* sei das Längenprofil einer Buhne, und AB diejenige Faschinen-Lage, deren Form und Gröfse man bestimmen will. In der Horizontal-Projection oder im Grundrifs (Fig. 120. *a*) ist alsdann FG die Begrenzung ihres Fufses. Die Länge dieser Linie ergiebt sich aber leicht aus dem Querprofil Fig. 120. *c*, in welches die Tiefe EB und die beabsichtigten Seitendossirungen eingetragen werden. Bei der üblichen einfüfsigen Seitendossirung treten die Punkte F und G um die Tiefe $D = EB$ vor die Krone vor.

Man überzeugt sich leicht, dafs der Winkel α, den diese Seitenlinien mit der Längenachse des Werks bilden, von der Tiefe unabhängig ist, und allein durch die Seitenböschung und die Neigung der Lage bedingt wird. Bleiben daher diese beiden Gröfsen in der

ganzen Ausdehnung des Werks dieselben, so ist auch der Winke α für alle Lagen constant.

Etwas zusammengesetzter wird die Construction, wenn die Linie, die im Grundrifs gleiche Tiefen verbindet, die Längen-Achse des Werks nicht rechtwinklig schneidet, was bei inclinanten und declinanten Buhnen gewöhnlich der Fall ist. Man darf aber gemeinhin alsdann noch annehmen, dafs die Tiefen-Linie gerade ist, also auch im Grundrifs sich als eine solche darstellt. Geringe Abweichungen können dabei unbeachtet bleiben, da grofse Schärfe in der Bestimmung der Form der Lage doch zwecklos wäre. Man mifst alsdann zwei Längenprofile parallel neben einander, also etwa unter beiden Rändern der Krone. In Fig. 121. *b* sei LL die Fufssohle unter der linken und MM unter der rechten Kante. ABF zeigt die Basis der betreffenden Lage nach ihrer Versenkung, und die noch schwimmende Lage (Fig. 121. *a*) mufs in diesen beiden Richtungen durch die Punkte B und F begrenzt werden, die von der Achse A um AB und AF entfernt sind. Hiernach kann man die äufsere Grenze PR ziehn, und wenn man die Winkel α aufträgt, so ist die Figur und Ausdehnung der Lage vollständig gegeben.

Wenn dagegen die Tiefen-Linie von einer geraden sehr bedeutend abweicht, also wenn etwa besonders tiefe Kolke vom Fufs der neuen Lage getroffen werden, so ist die Linie PR auch nicht gerade, und zwei Punkte genügen nicht mehr zu ihrer Bestimmung. Man mufs alsdann aufser den beiden Profilen LL und MM noch andre messen, und dadurch in derselben Art mehrere Punkte in der Linie PR bestimmen, um die passende Begrenzung der Lage zu finden.

Wenn gleich während der Ausführung einer Faschinenlage, wobei die möglichste Beschleunigung dringend geboten ist, zu genauen Messungen keine Zeit bleibt, solche auch wegen der Unsicherheit beim Auftreten sehr schwierig sind, so war die vorstehende Mittheilung doch nothwendig, um ein klares Verständnifs der Zusammensetzung einer Buhne herbeizuführen, und eine gewisse Controle über den Kribbmeister oder den Vorarbeiter zu ermöglichen, der die Faschinen auswirft. Nach dem Versenken der Lage geben sich freilich die dabei begangnen Fehler deutlich zu erkennen, indem die unrichtig geformte Lage sich zu steil oder zu flach stellt, oder viel-

leicht das Flufsbett gar nicht erreicht und die Seitendossirungen anders ausfallen, als sie sein sollten. Es ist alsdann aber die Gelegenheit verschwunden, die begangnen Fehler vollständig und ohne Nachtheil für das Werk zu verbessern. Man verlangt daher mit vollem Recht von dem Baumeister, dafs er schon während der Ausführung die Angemessenheit aller einzelnen Operationen zu beurtheilen im Stande ist, er mufs daher auch beim Auswerfen der Faschinen zu jeder neuen Lage sich überzeugen können, dafs dieselbe die gehörige Form und Ausdehnung erhält. Dafs dieses möglich ist, leidet keinen Zweifel, denn der tüchtige und geübte Kribbmeister und eben so der in solchen Ausführungen routinirte Wasserbaumeister greift in kurzen Zwischenzeiten immer von Neuem zur Peilstange, sammelt also wirklich die Data, welche nach der vorstehenden Auseinandersetzung gebraucht werden. Er macht freilich keine Constructionen nach den Regeln der beschreibenden Geometrie, da ihm aber die erwähnten Beziehungen geläufig sind, die zwischen den Tiefen und der Ausdehnung der Lage stattfinden müssen, er letztre auch schnell zu messen oder mit genügender Schärfe zu schätzen geübt ist, so befolgt er wirklich die vorstehend entwickelten Regeln. Uebrigens ist das vollständige Nachmessen jeder einzelnen Lage, während sie noch auf dem Wasser schwimmt, keineswegs ohne Beispiel. Der verstorbne Eversmann hatte solches für alle gröfsern Bauten am Rhein im Düsseldorfer Regierungsbezirk vorgeschrieben. Die Resultate dieser Messungen wurden graphisch in den Grundrifs eingetragen und dabei zugleich die Tiefen vor derselben und die Quantität des verbrauchten Materials bemerkt. Diese Arbeit ist an sich nur unbedeutend, und gewährt den Vortheil, dafs man begangne Fehler, die sich durch Verstärkung oder Verlängerung der nächsten Lage noch beseitigen lassen, sogleich erkennt. Demnächst aber setzt sie den obern Baubeamten auch in den Stand, die ganze Art der Ausführung zu prüfen, darnach die Tüchtigkeit der Kribbmeister und Aufseher zu beurtheilen und dieselben zu belehren, wie sie diejenigen Unregelmäfsigkeiten vermeiden können, welche sich beim weitern Fortgang des Baues oder nach Vollendung des Werks zu erkennen geben.

In Fig. 119., 120. und 121. nehmen die Faschinen-Lagen nach ihrer Versenkung eine Neigung an, welche der zweifachen Anlage oder dem Winkel von 26 Grad 34 Minuten entspricht. Unter die-

ser Voraussetzung wird eine Lage von 10 Fuſs Länge in der Tiefe von 4,47 oder nahe 4½ Fuſs mit ihrer äuſsern Kante den Grund berühren. Diese Berührung erfolgt in dem horizontalen Abstande von der Achse von 8,95 oder nahe 9 Fuſs. Wenn man also eine Lage von der angegebnen Länge hat, so kann sie die beabsichtigte Neigung nur annehmen, wenn im Abstande von 1 Fuſs innerhalb ihres äuſsern Randes (während sie noch schwimmt) die Sohle des Fluſsbettes 4½ Fuſs unter der Drehungsachse sich befindet. Für andre Längen läſst sich hiernach leicht der horizontale und vertikale Abstand des Berührungspunktes von der Drehungsachse herleiten. Jener ist nämlich um den zehnten Theil kleiner, als der Abstand, in der schwimmenden Lage gemessen, und dieser die Hälfte des erstern. Es ist schon bemerkt worden, daſs der Winkel, den die Seite der Lage mit der verlängerten Seite der Krone macht, oder α, von der Tiefe unabhängig ist. Derselbe miſst für die angenommne Neigung der Lage und für einfache Anlage der Seitendossirung, 24 Grad 6 Minuten. Man braucht jene Zahlenverhältnisse nur zu wissen, um durch bloſses Kopfrechnen die gesuchten Resultate zu finden.

Die Rechnung wird aber noch leichter, wenn man eine etwas steilere Neigung der gesenkten Lage annimmt, nämlich eine solche, wo in dem rechtwinkligen Dreiecke die Hypothenuse, oder die Länge der Lage, noch einmal so groſs ist, als die senkrechte Kathete. Die Neigung entspricht alsdann der 1¾fachen Anlage oder einem Winkel von 30 Graden. Eine solche darf, wenn die Strömung nicht besonders stark ist, noch gewählt werden, da selbst feiner Sand unter Wasser sich in einer Böschung von 35 Graden schon ablagert. Wenn die Lage alsdann wieder 10 Fuſs lang ist, so wird sie, sobald sie herabgesunken ist, mit ihrer äuſsern Kante 5 Fuſs unter der Drehungsachse liegen, und die Stelle, wo sie den Grund berührt, ist 8,660 oder 8⅔ Fuſs im horizontalen Abstande von dieser Achse entfernt. Man kann sonach, während die Lage noch schwimmt, leicht beurtheilen, ob sie an jeder Stelle hinreichend weit herausgeführt ist. Ihre Länge in der Richtung der Buhne gemessen, muſs noch einmal so groſs sein, als die Tiefe, in welcher sie den Grund trifft, und zwar wird diese Tiefe bis zu derjenigen Horizontal-Ebne gemessen, welche durch die Achse gelegt ist. Die Stelle, an welcher der Grund getroffen wird, liegt aber

vom äufsern Rande der Lage um zwei Funfzehntheile ihrer Länge entfernt. Der Winkel α ist in diesem Falle gleich 26 Grad 34 Minuten.

Die Drehung erfolgt in der untern Grundfläche der Faschinen-Lage, und zwar an der Grenze des bereits vollständig comprimirten Theiles des Werks, das heifst am vordern Rande des Sand- oder Erdhaufens. In Betreff der Höhe dieser Achse mufs man immer dafür sorgen, dafs sie etwas über Wasser bleibt, weil sonst das Werk überfluthet werden würde. Wenn der vollständig beschwerte Theil des Baues, auf welchem die neue Lage ruht, etwa 1 Fufs über den Wasserspiegel vorragt, wie dieses gewöhnlich der Fall ist, so mufs man zu der gefundnen Wassertiefe diesen Fufs jedesmal hinzusetzen. Indem die Faschinen aber in ihren Wipfelenden sehr schwach ausfallen und daselbst wenig Masse haben, so müssen sie um 2 bis 3 Fufs vor diejenige Linien vortreten, welche die äussere Grenze der Lage bildet.

Auf diese Weise läfst sich leicht beurtheilen, ob die Lage die gehörige Länge hat. Die Seitenbegrenzung ergiebt sich aber aus dem mit α bezeichneten constanten Winkel. Es ist am bequemsten, denselben durch weit entfernte Gegenstände zu bezeichnen, die alsdann für die sämmtlichen Lagen derselben Buhne gelten. Auf grofse Schärfe kommt es dabei durchaus nicht an, und es genügt vollkommen, wenn man dem Kribbmeister die Richtungen der beiden Seitenlinien zeigt, nachdem man sie durch eine leichte Winkelmessung vorher aufgesucht hat. Endlich ist noch zu erwähnen, dafs die beiden Seiten der Krone jede durch zwei Stangen am Ufer bezeichnet werden müssen. Dabei darf man aber nicht unbeachtet lassen, dafs die Breite des Werks in derjenigen Höhe, wo die Drehungsachsen liegen, gröfser ist, als die eigentliche Kronenbreite, und zwar ist der Unterschied zwischen beiden von dem Wasserstande zur Zeit des Baues abhängig.

Um die Untersuchung möglichst zu vereinfachen, ist es bisher vermieden, von der Dicke der einzelnen Faschinen-Lagen zu sprechen. Die Berücksichtigung derselben ist indessen mit den so eben bezeichneten Methoden zur Auffindung der Grundflächen sehr wohl vereinbar, wenn nur, wie oben angenommen, jede Lage in ihrer ganzen Ausdehnung gleiche Dicke hat, und sich überdies von der erwähnten Achse bis zur Sohle des Flufsbettes erstreckt.

Die gefundne Fläche ist alsdann nichts Andres, als die untere Basis der neuen Faschinen-Lage, oder diejenige Ebne, worin diese die vorhergehende Lage berührt, nachdem beide vollständig versenkt sind.

Es kommt hierbei noch ein andrer Umstand in Betracht, der häufig grofse Schwierigkeiten herbeiführt. Bisher ist nämlich vorausgesetzt, dafs die Sohle des Strombetts an der Stelle, wo die Faschinen-Lage dasselbe berührt, nahe horizontal ist, oder wenigstens in der Richtung der Buhne nicht stark abfällt. Die angegebne Methode des Baues mit gleich starken und gleichmäfsig geneigten Lagen, von denen jede einzelne vor die vorhergehende nicht weit vorspringt, setzt in der That eine solche Beschaffenheit des Bettes voraus, und bedingt ein sehr weites Vortreten der neuen Lage, falls das Flufsbett stellenweise nahe dieselbe Neigung hat, die man den Faschinen-Lagen geben will. Wenn aber vollends das Flufsbett noch stärker abfällt, so mufs man die Lagen anders anordnen, damit sie dennoch die beabsichtigte flachere Neigung annehmen.

Zur Erreichung dieses Zwecks giebt es zwei Mittel. Entweder man wendet halbe Lagen an, d. h. solche, die nur den äufsern Theil der vorhergehenden Lage bedecken. Andrerseits bildet man aber auch sogenannte Pülv-Lagen, die an ihrem äufsern Ende dicker sind, als in dem Theile, wo sie auf den vorhergehenden Lagen ruhn. Beide Mittel sind ausführbar, das letzte ist aber nicht nur das leichtere, sondern es verdient auch insofern den Vorzug, als dadurch allein die Bedingung erfüllt werden kann, dafs die Oberfläche jeder Lage eine gleichmäfsig geneigte Ebne bildet. Hat man den Anschlufs, oder den äufsern Theil der Faschinen-Lage dargestellt, so ist eine beliebige Verstärkung desselben leicht anzubringen, und will man nicht zu viele lose Faschinen über einander packen, so kann man ihnen durch einige zwischengelegte Würste die gehörige Verbindung geben. Vortheilhafter und sicherer ist es aber, den hintern Theil der Pülv-Lage, also denjenigen, womit sie auf der vorhergehenden Lage aufliegt, möglichst schwach zu halten, wie dieses in der dritten und vierten Lage Fig. 119. *b* dargestellt ist. Ein grofser Vorzug dieses Verfahrens beruht noch darauf, dafs jede einzelne Lage an den schon feststehenden Theil des Werks angeschlossen wird, und sonach ein Verschieben durch den Strom weniger zu besorgen ist. Die anzubringende Verstärkung ist offenbar von der Zunahme der Tiefe abhängig. Durch sorgfältiges

Nachmessen der Tiefe kann man allein grobe Fehler und Mifsgriffe vermeiden. Solche Fehler sind aber durch Anwendung der halben Lagen keineswegs leichter zu vermeiden, sie treten vielmehr in diesem Fall sogar noch auffallender ein, da man die halben Lagen gewöhnlich zu hoch heraufzieht, oder sie zu lang macht.

Bei aufmerksamer Leitung des Baues und Beachtung der vorerwähnten Regeln gelingt es wohl jedesmal, das Werk in der beabsichtigten Form und gehörig schliefsend auszuführen. Diese Absicht wird indessen vereitelt, wenn in der Zwischenzeit, dafs die Lage noch schwimmt, die Tiefe bei der verstärkten Strömung sich bedeutend vergröfsert. Um dieses zu vermeiden, mufs jede Lage möglichst schnell ausgeführt und unmittelbar darauf versenkt werden. Kann letzteres im Laufe des Tages nicht mehr geschehn, so darf auch mit dem Auswerfen der Faschinen nicht der Anfang gemacht werden. Bevor man aber den Bau der nächsten Lage beginnt, mufs man die Tiefen aufs Neue messen.

Es geschieht nicht selten, dafs selbst solche Werke, die schlecht ausgeführt sind, bei der ersten Untersuchung keinen Verdacht erregen, aber dennoch bald starke Versackungen und bedeutende Beschädigungen in der Oberfläche, und besonders am Kopf der Buhne zeigen. Die Veranlassung hierzu liegt meist darin, dafs einzelne Faschinen-Lagen beim Versenken so stark geneigt werden, dafs das Beschwerungs-Material herabfällt, theils aber sind die Flächen, worauf sie aufliegen, auch so uneben, dafs sie sich denselben nicht sogleich anschliefsen, und sonach anfangs Höhlungen im Werke bleiben, die erst später bei dem dauernden Druck sich ausfüllen und die bemerkten Versackungen zur Folge haben.

Bei dieser Gelegenheit mufs noch bemerkt werden, dafs die Schwierigkeit, welche der Buhnenbau häufig bietet, und welche zuweilen sogar die Fortsetzung der Werke bis zur beabsichtigten Länge unmöglich macht, nicht selten nur durch die unpassende Anordnung des Baues veranlafst wird. Wenn die Tiefe sehr grofs ist, so kann eine kurze Faschinen-Lage den Grund nicht berühren, ohne sich auf den Kopf zu stellen und ihr Beschwerungs-Material zu verlieren. Man darf sich daher nicht wundern, wenn eine solche vom Strom, der mit Heftigkeit zwischen ihr und dem Bette sich hindurchzieht, fortgerissen und dabei zugleich das Bett aufs Neue vertieft wird. Man kann freilich der Vertiefung des Strombettes

während des Baues, selbst bei gehöriger Führung desselben, ohne Anwendung besondrer Vorkehrungen nicht immer sicher begegnen, aber je gröfser die Schwierigkeit an sich ist, um so mehr mufs man sich bemühn, den geregelten Fortgang des Baues durch grofse Aufmerksamkeit auf alle Einzelheiten und durch rechtzeitiges Eingreifen bei unpassenden Anordnungen möglichst zu fördern.

Die Stärke der einzelnen Lage beträgt, nachdem dieselbe vollständig comprimirt ist, mit Einschlufs des Beschwerungs-Materials etwa 3 Fufs, sie mufs aber in dem losen Faschinenkörper bedeutend gröfser sein, damit sie bei eintretender Compression nicht zu geringe wird. Sie nimmt also nach und nach in dem Maafse ab, wie der Druck des aufgebrachten Beschwerungs-Materials oder der darüber gelegten folgenden Lage zunimmt. Dieser Umstand ist für die Ausführung des Packwerks von grofser Wichtigkeit. Man belastet nämlich die Lagen keineswegs einzeln so stark, dafs sie vollständig comprimirt werden, dieses ist auch nicht nothwendig, indem das Beschwerungs-Material der folgenden Lagen gleichfalls auf sie einwirkt. Man ist im Gegentheil sehr vorsichtig mit der Belastung, damit jede einzelne Lage noch so lange schwimmt, bis sie durch die folgende überdeckt wird. Indem nun aber die neue Lage eben so, wie alle vorhergehenden, an ihrem äufsern Ende am wenigsten belastet ist, so bleibt sie anfangs noch dicker, und sonach durchbaut man mit den schwach belasteten Lagen früher die Tiefe bis zur Sohle, als wenn man sogleich die zur vollständigen Compression erforderliche Belastung aufgebracht hätte. Der Vortheil dieses Verfahrens ist wesentlich, denn jede Lage ruht im grösten Theile ihrer Länge schon während des Baues auf der vorhergehenden, und der Strom kann sich unter dem begonnenen Bau weniger hindurchziehn, woher auch die Gefahr geringer wird, dafs eine grofse Tiefe sich daselbst bilden möchte. Aufserdem bietet der noch lose Theil des Werks dem Druck des strömenden Wassers einen kräftigern Widerstand, wenn er sich gegen den Grund stützt, und wenn jede Lage mit Ausnahme ihres vordern Theiles auf der vorhergehenden aufliegt. Die Profilzeichnung Fig. 119. *b* zeigt dieses Verhalten der einzelnen Lagen, und es ist dabei noch zu bemerken, dafs die vollständige und oft sogar eine noch stärkere Belastung als diejenige, welche das fertige Werk erhält, schon während des Baues durch aufgesetzte Sandhaufen erfolgen mufs, die

sich bis zum Anfange der letzten Lage bei *A* erstrecken. Diese Stelle kann daher als fest angesehn werden, und sonach ändert sich auch die Achse nicht mehr, um welche die neue Lage bei der Versenkung sich dreht.

In diesem lockern Zustande darf man indessen die Faschinen-Lagen nicht lange Zeit hindurch stehn lassen, weil sie dem Strom für die Dauer nicht hinreichenden Widerstand leisten, auch das Beschwerungs-Material, womit sie bedeckt sind, durch das hindurchdringende Wasser nach und nach ausgespült wird. Dieses Verhältnifs darf daher nur während des raschen Betriebes des Baues bestehn, und sobald eine Unterbrechung eintritt, und namentlich wenn das Wasser wächst, wobei auch die Strömung heftiger wird, mufs man eilen, alle Lagen vollständig zu versenken. In diesem Fall genügt aber leichtes Beschwerungs-Material für die letze Lage nicht mehr, weil dasselbe ohne Ueberdeckung nicht hinreichenden Widerstand leistet und fortgespült wird, wodurch der ganze Bau gefährdet würde. Man mufs daher diejenige Lage, bei welcher die Unterbrechung eintritt; in gleicher Weise, wie die äufserste Lage des ganzen Werks durch gröberes Beschwerungs-Material sichern.

Die Fortsetzung des Baues ist nach einer solchen Unterbrechung schwierig, und dasselbe findet auch statt, wenn durch Unvorsichtigkeit eine Lage so stark beschwert wurde, dafs sie unerwartet ganz versinkt. Man kann den Bau der neuen Lage jedesmal nur an der Stelle beginnen, wo das Werk über Wasser liegt, man ist also gezwungen, eine viel längere Ausschufslage zu machen, als sonst nöthig gewesen wäre, oder man mufs wie vor einem steil abgebrochnen Ufer durch wenig vortretende Pülv-Lagen nach und nach die regelmäfsige Fortsetzung des Baues einleiten.

Es mufs noch erwähnt werden, dafs man zur Ermäfsigung der Kosten zuweilen auch beim Packwerksbau in gleicher Weise, wie beim Steinbau die Buhnen mit einem innern Kern von Sand oder Kies versieht. Man darf dieses indessen nur unter günstigen Umständen und bei sehr niedrigem Wasserstande thun. Die Einschlufsdämme werden in gewöhnlicher Art als Packwerk erbaut, nach aufsen sind sie einfüfsig dossirt, nach innen dagegen werden sie möglichst steil angelegt, und ihre Kronenbreite (in der Höhe des niedrigen Wassers) beträgt 4 Fufs, ist also so geringe, dafs sie nur eben sicher begangen werden kann. Nachdem der Raum zwi-

schen ihnen bis zum Wasserspiegel ausgeschüttet ist, werden sie durch Packwerkslagen, welche die Schüttung überdecken, verbunden und alsdann der Bau in üblicher Weise bis zur Krone heraufgeführt.

Die vorstehend hergeleiteten Regeln über Anordnung der Packwerke gelten allgemein. Die beispielsweise gewählten Fälle beziehn sich aber nur auf solche Bauten, die in den Strom hineintreten, also auf Buhnen. Es ist nöthig noch der Uferdeckungen und Parallelwerke besonders zu erwähnen, weil man bei erstern häufig eine Aenderung eintreten läfst, die sich nicht rechtfertigt.

Wenn vor einem abbrüchigen Ufer, wie Fig. 132. auf Taf. XVI. ein solches im Profil darstellt, ein Packwerk erbaut werden soll, so erhält dasselbe nur an der einen Seite, nämlich an der dem Strom zugekehrten, diejenige Dossirung, welche man einer Buhne an beiden Seiten zu geben pflegt, weil es sich an der andern Seite an das Ufer anschliefst. Kennt man durch genaue Verpeilung die Form des Letztern, so hat es keine Schwierigkeit, die Ausdehnung einer jeden Lage zu bestimmen. Die vorhin angegebnen Methoden lassen sich unmittelbar auf diesen Fall anwenden, und die Lagen erhalten nur insofern eine abweichende Form, als sie an der Uferseite mit keiner vortretenden Ecke versehn sind. Diese Lagen bilden aber nach dem Versenken gleichfalls Ebnen und die Drehungsachse jeder Lage ist wieder normal gegen die Längenache des Werks gerichtet. Wäre das Ufer senkrecht abgebrochen, so würden die einzelnen Lagen, während sie noch schwimmen, sich bis zum Ufer hinziehn, wie Fig. 133. zeigt, wenn dagegen das Ufer, wie dieses fast immer der Fall ist, eine gröfsere oder kleinere Böschung hat, so schliefst sich die Basis der Lage, während diese noch schwimmt, nicht an das Ufer an, wohl aber erreicht sie dieses beim Versenken, da dasselbe in gröfserer Tiefe weiter vortritt.

Die Aenderungen, die man in der Construction der Uferdeckungen zuweilen eintreten läfst, bestehn zunächst darin, dafs man den einzelnen Lagen nicht mehr die Gestalt eines Trapezes, sondern eines rechtwinkligen Dreiecks giebt, dessen eine Kathete sich an das Ufer anschliefst. Dieses ist von keinem wesentlichen Nachtheil, insofern die Ergänzung des hintern oder obern Theiles der Faschinen-Lage über die Drehungsachse hinaus nur die Dossirung über Wasser fortsetzt, was sich später leicht beliebig ändern läfst.

Sodann aber pflegt man häufig auch die Richtung der Drehungsachse zu verändern, indem man jede der erwähnten dreiseitigen Lagen ohne Rücksicht auf die Dossirung des Ufers an dasselbe anschliefst und mittelst übergenagelter Würste daran befestigt. Wenn diese Würste beim Versenken nicht nachgeben, so legt sich die Lage auf das Ufer, und kann dabei so steil werden, dafs das aufgebrachte Beschwerungs-Material herabfällt. Wenn dagegen die Würste, die in diesem Falle einem starken Zuge ausgesetzt sind, zerreifsen, oder die Pfählchen nachgeben, so läfst es sich nicht vorher bestimmen, wie weit die Lage sich vom Ufer entfernen wird. Die Regelmässigkeit des Baues wird daher, abgesehn von der steilen Neigung der Lage, wesentlich beeinträchtigt. Wenn es aber auch möglich ist, sie durch Anbringung von keilförmigen Verstärkungen oder Pülv-Lagen an das Ufer anzuschliefsen und ihre Drehungsachse dem Ufer parallel zu legen, so wird dadurch die Ausführung keineswegs erleichtert, sondern im Gegentheil erschwert. Der Beginn des Packwerksbaues ist nämlich, wie schon oben bemerkt, neben einem steilen Ufer wegen der erforderlichen grofsen Länge der Lagen sehr schwierig. Verfährt man nach den obigen Regeln, so tritt diese Schwierigkeit nur am Anfangspunkt des Werks ein, nach der letzten Methode wiederholt sie sich aber bei jeder einzelnen Faschinen-Lage.

Gewöhnlich soll ein abbrüchiges Ufer nicht in der unregelmässigen Form, die es hat, gedeckt werden, sondern man will dasselbe zugleich reguliren und eine gehörige Uferlinie darstellen. Hiernach schliefst sich das Packwerk nicht immer unmittelbar an das Ufer an, sondern es entfernt sich zuweilen davon und mufs alsdann in derselben Art wie eine Buhne frei im Wasser ausgeführt werden. Dabei tritt indessen der Unterschied ein, dafs der Raum zwischen dem Deckwerk oder Parallelwerk und dem Ufer, wenn er nicht grofs ist, gleich nach Beendigung des Baues mit Erde oder Sand ausgefüllt wird, wie Fig. 134. zeigt. Das dazu erforderliche Material gewinnt man gewöhnlich schon durch Abböschung des dahinter liegenden höhern Ufers. Wenn eine solche Ausfüllung aber auch nicht erfolgt, so ist der abgeschlofsne Raum neben dem Ufer entweder an sich so unbedeutend, dafs hier das Eintreten einer starken Strömung nicht erwartet werden kann, oder man zerlegt durch Anschlüsse, wie bei Parallelwerken, jenen Raum in so viele Ab-

theilungen, dafs dadurch die Strömung gemäfsigt wird. Auf diese Weise ist bei solchen, nicht weit vortretenden Uferdeckwerken ein starkes Ueberstürzen des Hochwassers nicht zu besorgen, und man kann sie daher an der hintern Seite entweder lothrecht oder doch mit einer sehr steilen Böschung aufführen. In der Figur ist eine Böschung gewählt, wobei die Anlage dem dritten Theile der Höhe gleich ist,

Die grofse Verschiedenheit der Tiefe in jedem Querprofil bei solchen Werken ist Veranlassung, dafs die Lagen sehr unsymmetrisch erscheinen. In den Fig. 135. *a*, *b* und *c* ist die Construction vollständig dargestellt, wonach man die Form und Ausdehnung jeder Lage in solchem Falle finden kann. In dem Grundrisse Figur 135. *a* sind in gleichen Abständen die Querprofile eingetragen, und zwar beziehn sich dieselben auf die mit *A*, *B*, *C*, u. s. w. bezeichneten Linien. In dem durch die Mittellinie der Krone des Werks, oder durch *MM* gelegten Längenprofile (Fig. 135. *b*), sind noch die Tiefen für zwei andre parallele Linien *LL* und *NN* eingetragen. Man zeichnet in das Längenprofil die einzelnen Lagen, wie hier durch die schrägen Linien geschehn ist, daraus ergiebt sich die Länge jeder Lage, und zwar eben sowohl in der Mittellinie *MM*, wie in den beiden Seitenlinien *LL* und *NN*. Diese Längen werden normal zur jedesmaligen Drehungsachse aufgetragen. Die beiden Seitenlinien bilden aber in gleicher Weise, wie bei Gelegenheit des Buhnenbaues bereits erwähnt, nach Maafsgabe der gewählten Seitendossirungen gewisse constante Winkel mit der Mittellinie des Werks. Wenn man daher diese Winkel im Grundriss aufträgt, so sind deren äufsere Schenkel die Seitenbegrenzungen der Lagen.

§. 36.

Ausführung der Packwerke.

Die Packwerke bestehn aus Faschinen-Lagen, deren jede einzelne auf dem Wasser schwimmend verbunden und in ihrer ganzen Ausdehnung mit Beschwerungs-Material bedeckt wird. Letzteres darf indessen nicht so reichlich aufgebracht werden, dafs die

Lage sogleich vollständig versinkt, sie mufs vielmehr erst durch die folgenden herabgedrückt werden. Indem ihr hinterer Rand, der dem Ufer oder dem Anfangspunkt des Werks zugekehrt ist, auf dem bereits festliegenden Theil des Baues ruht, so findet hier keine Senkung statt. Die Faschinen-Lage dreht sich vielmehr beim Versinken um diesen Rand, wie um eine feste Achse, und nimmt, wenn sie durch die folgenden Lagen und das aufgebrachte Beschwerungs-Material ihre vollständige Belastung erhalten hat, eine gewisse vorher bestimmte Neigung an, welche in ihrer ganzen Ausdehnung möglichst gleichmäfsig sein mufs. Diese Bedingung wird dadurch erfüllt, dafs man der Lage eine angemefsne Form, Ausdehnung und Höhe oder Dicke giebt, welche letztere zuweilen, sobald nämlich eine bedeutend gröfsere Tiefe erreicht werden soll, am vordern Theil verstärkt wird. Das Verfahren des Verbindens und Versenkens wiederholt sich sehr gleichmäfsig bei allen einzelnen Lagen, welche Form dieselben auch haben mögen. Von den Vorsichtsmaafsregeln, die beim Anschlufs des Werks an das Ufer, so wie zur Sicherung des vordern Theils oder des Kopfs erforderlich sind, soll später die Rede sein.

Die Figuren 122., 123. und 124. auf Taf. XV. stellen den Bau einer Lage in verschiednen Perioden dar, und die Ausdehnung der im Bau begriffnen, so wie der nächst vorhergehenden Lage, ist in diesen Figuren übereinstimmend durch punktirte Linien angedeutet. Die vorhergehende Lage ist, wie Fig. 122. zeigt, nicht nur im Faschinenwerk vollständig beendigt, sondern auch mit Beschwerungs-Material bedeckt. Dasselbe ist jedoch im äufsern Theile, wo sie Lage noch schwimmt, nur in geringer Masse aufgebracht, woher es hier die Würste noch nicht bedeckt. Auf dem hintern Theil der Lage sind dagegen die Würste bereits überschüttet, und im Anschlufs an das schon festliegende Werk ist ein hoher Haufen Beschwerungs-Material aufgestellt, der einerseits die vollständige Compression hier bewirken, andrerseits auch die Gelegenheit bieten soll, die Beschwerung der neuen Lage, die bis an diesen Haufen reicht, möglichst rasch vornehmen zu können.

Alle einzelnen Faschinen werden parallel nebeneinander gelegt, und zwar so, dafs die Wipfelenden nach aufsen gekehrt sind. Es kommt zunächst darauf an, die neue Lage weiter in den Strom zu treiben, ohne dafs man die vorhergehende zu sehr belastet, da diese

sonst fortsinken würde. Man stellt daher zuerst die sogenannte Ausschufslage oder Vorlage dar, das heifst denjenigen Theil, in welchem jede folgende Faschinenreihe über die vorhergehende heraustritt. Auf der stromaufwärts gekehrten Ecke wird die erste Faschine ausgeworfen, und an diese schliefsen sich die folgenden an, so dafs die äufsere Seite der vorhergehenden Lage mit Einschlufs der beiden Ecken mit einer Faschinenreihe überdeckt wird, deren Anfang Fig. 122. zeigt. Diese Reihe springt in den Ecken nur wenig über die vorhergehende Lage vor, wohl aber geschieht dieses an der vordern Seite, und man kann sie unter günstigen Umständen bis zur halben Faschinenlänge vortreten lassen. Zuweilen ist es jedoch schwierig, auch nur einen geringen Vorsprung zu gewinnen, und man mufs alsdann zu besondern Maafsregeln greifen, die später beschrieben werden sollen.

Es kommt darauf an, durch die verschiednen übereinander greifenden Faschinenreihen die Ausschufslage in der bestimmten Form darzustellen, wobei jedoch die äufsersten Theile oder die Wipfelenden der Faschinen nicht in Betracht kommen, weil sie zu wenig Masse haben. Die Bildung der scharfen Ecken ist gleichfalls unnöthig, wodurch der gehörige Schlufs zwischen den einzelnen Faschinen aufgehoben würde. Indem man es aber vermeiden mufs, die äufsern Faschinen parallel zur Seite der Lage auszuwerfen, weil sie in diesem Falle nicht gehörig befestigt werden könnten, so ist es Regel, dieselben immer ungefähr normal gegen die Curve zu legen, welche die ganze Reihe begrenzt. Auf diese Weise steckt jede Faschine mit dem Stammende, wo ihr Querschnitt am gröfsten ist, im Innern des Werks, und kann also nicht leicht herausgerissen oder fortgespült werden.

Die einzelnen Faschinen müssen nicht nur recht regelmäfsig in geschlofsner Reihe und mit Rücksicht auf die der Lage zu gebende Form ausgeworfen werden, sondern diese Arbeit mufs auch möglichst schnell erfolgen, da bei der zunehmenden Belastung die vorhergehende zum Theil noch schwimmende Lage zu sinken anfängt. Zum Beischaffen der Faschinen mufs daher die gehörige Anzahl von Arbeitern angestellt werden, und zwar mufs diese um so gröfser sein, je weiter der Faschinenhaufen entfernt ist. Man stellt zuweilen die Arbeiter reihenweise auf, und läfst einen dem andern jede Faschine zureichen. Diese Anordnung ist indessen für

die Leute ermüdend, da jeder Einzelne gezwungen wird, die Last von Neuem aufzuheben, und überdiefs kommen dabei viel häufiger Unterbrechungen vor, als wenn jeder Arbeiter eine Faschine von dem Haufen entnimmt und sie zum Kribbmeister trägt. Da das Heben der Faschinen, wie schon erwähnt, sehr schnell erfolgt, wenn sie aufrecht und zwar auf dem Stammende stehn, so können die Leute in diesem Falle in ununterbrochner Reihe hinter einander gehn, und es geschieht nicht selten, dafs dem Kribbmeister die Faschinen schneller zugetragen werden, als er sie verlegen kann. Die leer zurückgehenden Arbeiter müssen denen, welche hingehn, ausweichen, und es ist am besten, wenn man beiden besondre Wege anweist. Der bequemste und nächste Weg dient aber für die belasteten Arbeiter.

Der Kribbmeister steht an der Stelle, wo die nächstfolgende Faschine verlegt werden soll. Der Arbeiter, der diese trägt, stellt sie in gleicher Weise, wie er sie aufgehoben hatte, dicht vor den Kribbmeister. Derselbe faſst sie mit beiden Händen und wirft sie an ihre Stelle. Hat er gehörige Uebung, so fällt die Faschine sogleich in die passende Lage, so dafs kein weiteres Zurechtlegen erforderlich ist. Es ist natürlich, dafs die Arbeit aufserordentlich verzögert werden würde, wenn der Kribbmeister sich jedesmal bücken und die Faschine an ihre Stelle schieben oder wohl gar sie von Neuem aufheben müfste. Ein solches Verfahren ist daher nicht zu gestatten, und eben so wenig ist es zulässig, dafs die Arbeiter die Faschinen auswerfen und der Kribbmeister sie alsdann ordnet, wobei sie vielfach wieder aufgenommen werden müfsten. Manche Kribbmeister haben die Gewohnheit, beim Auswerfen der Faschinen besonders dahin zu sehn, dafs das Wipfelende an die passende Stelle kommt, und stofsen das Stammende mit dem Fufs nach. Dieses Verfahren ist wenig zeitraubend und darf daher gestattet werden.

Ein gar zu ängstliches Verlegen ist indessen ohne Nutzen. Zwischen den Faschinen dürfen freilich keine weiten Räume offen bleiben, und noch weniger dürfen die Faschinen in einer Reihe stellenweise auf einander liegen, es schadet aber nichts, wenn das Stammende einer Faschine bis zu einem halben Fufs vor die übrigen vortritt oder dagegen zurückspringt.

Das bisher Gesagte bezog sich auf das Auswerfen der Faschi-

nen in der ersten Reihe der Ausschufslage. Nachdem diese beendigt ist, wird in gleicher Weise die zweite und alle folgenden Reihen behandelt, von denen eine jede auf der vordern Seite vor die frühern etwas vortritt, bis man die beabsichtigte Ausdehnung der ganzen Vorlage erreicht hat. Bei schwacher Strömung kann man, wie bereits erwähnt, jede einzelne Reihe bedeutend über die vorhergehende vortreten lassen, im entgegengesetzten Fall ist dieses nicht möglich, man mufs alsdann aber wegen der gröfsern Zunahme der Tiefe die Lage an ihrem vordern Ende auch besonders stark machen, um eine zu steile Stellung nach dem Versenken zu verhindern. Die Ausschufslage besteht nach Umständen aus zwei bis sechs und zuweilen noch mehr Faschinenreihen. Fig. 123. zeigt die fertige Ausschufslage, aus drei Reihen bestehend, in der Ansicht von oben, und Fig. 125. im Längendurchschnitt.

Nachdem die Ausschufslage beendigt ist, geht man sogleich zur Rücklage über, die diesen Namen von der Art ihrer Zusammensetzung erhalten hat. Man wirft nämlich zuerst die äufsere Faschinenreihe aus und geht nach und nach zurück. Die Richtung der einzelnen Faschinen, so wie auch die Anordnung der ganzen Reihen stimmt dabei mit denen der Ausschufslage genau überein. Durch das Zurückziehn der Reihen werden aber immer die Stammenden der vorhergehenden überdeckt, woher man in der fertigen Rücklage nicht diese, sondern nur die Wipfelenden der Faschinen sieht, und bei sorgfältiger Arbeit mufs die ganze Strauchfläche ziemlich eben sein und keine Unregelmäfsigkeiten an einzelnen Stellen bemerken lassen. Die Darstellung der Rücklage ist mit keinen Schwierigkeiten verbunden, weil die einzelnen Faschinen immer auf der darunter befindlichen Lage sicher aufliegen. Sollte letztere stellenweise auch etwas sinken, so bilden die Würste und die Köpfe der Pfähle der vorigen Lage so viele Unebenheiten, dafs ein Forttreiben der fertigen Vorlage durch übertretendes Wasser nicht leicht erfolgen kann. Der Kribbmeister mufs beim Auswerfen der Faschinen zur Rücklage dafür sorgen, dafs die ganze Lage die gehörige Ausdehnung und in allen Theilen die erforderliche Dicke erhält. Sollte bei der Ausschufslage in dieser Beziehung ein Fehler begangen sein, so läfst sich derselbe bei der Rücklage leicht verbessern. Es darf kaum erwähnt werden, dafs man die gröfsere Stärke der Lage dadurch hervorbringt, dafs die einzelnen Reihen nur wenig

gegen einander zurücktreten, während durch das entgegengesetzte Verfahren eine geringere Dicke dargestellt wird. Fig. 126. zeigt den Anfang der Rücklage im Längendurchschnitt, und die untere Hälfte von Fig. 124. denselben in der Ansicht von oben.

Da die gebundnen Faschinen gröfsere Zwischenräume zwischen sich lassen, so werden zuweilen in der Rücklage, woselbst ein Forttreiben der einzelnen Reiser nicht mehr zu besorgen ist, die Bänder der Faschinen aufgehauen und die Reiser gleichmäfsig ausgebreitet. Dieses Verfahren darf aber nicht früher eintreten, als bis die Faschinen verlegt sind, weil sonst das Beitragen und Verpacken zu sehr erschwert würde. Es wird dabei indessen kein wesentlicher Vortheil erreicht, und es ist sogar zweifelhaft, ob die ganze Strauchmasse hierdurch in eine mehr geschlofsne Lage gebracht wird. Das Aufhauen dient nur dazu, die Zwischenräume in der Oberfläche etwas gleichmäfsiger zu vertheilen, wodurch die ganze Lage mehr geebnet erscheint. Sollte eine Unterbrechung der Arbeit oder das Eintreten andrer Umstände besorgt werden, wodurch die Festigkeit der Lage gefährdet werden könnte, so ist es gewifs vorzuziehn, die einzelnen Faschinen nicht zu lösen, weil die Bänder doch einigermaafsen den Zusammenhang befördern.

Sobald die letzte Faschinenreihe den festen Theil des Werks oder den aufgesetzten Sand- oder Kieshaufen erreicht, so kommt es darauf an, die Lage in ihren Theilen zu verbinden, damit sie das Senkmaterial tragen und als zusammenhängende Masse herabsinken kann, ohne sich aufzulösen. Diese Verbindung geschieht durch Uebernageln der Würste. Man pflegt zuweilen die Ausschufslage, auch wohl einzelne Theile derselben, schon in dieser Art an die vorhergehende Lage zu befestigen, indem einzelne kurze Würste oder sogenannte Anker schräge übergeworfen und mit Faschinenpfählen an beide Theile genagelt werden. Dieres geschieht, um ein mögliches Zerreifsen und Forttreiben der Ausschufslage durch den Strom zu verhindern. Die Würste müssen in diesem Fall nicht parallel zur Längenrichtung des ganzen Werks, sondern schräge gelegt werden, so dafs sie auf der obern oder stromaufwärts gekehrten Ecke der fertigen Lage befestigt sind, und sich stromabwärts über den Ausschufs hinziehn. Man erreicht bei dieser schrägen Richtung noch den Vortheil, dafs die Würste eine gröfsere Anzahl Faschinen in jeder Reihe treffen und daher eine

kräftigere Verbindung bewirken. Bei grofser Breite der Ausschufslage wirft man auch die Würste an mehreren Stellen aus, die alsdann sämmtlich in schräger Richtung parallel zu einander liegen. Es ist aber zwecklos, über diese Würste noch andre kreuzweise zu legen, da letztere gegen den Druck des Stroms keinen Widerstand äufsern können. Dieses Verfahren ist sogar nachtheilig, in sofern in der Durchkreuzung ein gröfserer freier Raum entsteht, der nicht gefüllt werden kann. Selbst jene ersten Würste sind schon in sofern nachtheilig, als sie neben sich leere Räume bilden, welche weder durch die darunter, noch durch die darüber liegenden Faschinen, und eben so wenig durch das Beschwerungs-Material ausgefüllt werden, da letzteres erst auf die Rücklage geworfen wird. Es ist daher besser, dieses Anschliefsen der Ausschufslage zu vermeiden, so lange kein Abreifsen zu besorgen ist.

Auf der fertigen Rücklage ist das Auflegen der Würste oder statt derselben der Flechtbänder nothwendig. Dieses ist aber hier ohne Nachtheil, indem die vertieften Felder dazwischen mit Senkmaterial gefüllt werden. Man bringt zuerst die Randwürste auf, das heifst man legt möglichst nahe am Rande der neuen Lage, soweit man sich demselben nähern kann, zwei Würste unmittelbar neben einander, die also die ganze Lage umgeben und bis zum festen Theil des Werks oder bis zum Kieshaufen reichen. Sollten die Würste nicht lang genug sein, so müssen sie gestofsen werden, man sorgt aber dafür, dafs die Stöfse beider Randwürste nicht zusammentreffen. In jedem Stofse schiefsen beide Enden etwa auf 4 Fufs Länge an einander vorbei und werden mit einigen starken Bindweiden in der oben beschriebenen Art zusammengebunden. Demnächst werden in Abständen von 2 Fufs die Faschinenpfähle durch die Würste hindurchgetrieben, man steckt sie abwechselnd nach der innern und äufsern Seite etwas geneigt in die Wurst ein, und ein andrer Arbeiter, der mit einem hölzernen Schlägel versehn ist, treibt sie soweit herab, dafs ihr Kopf 6 bis 9 Zoll über die Wurst vorragt. Dieses ist, wie schon oben angeführt, nothwendig, um zu verhindern, dafs sie sich nicht etwa ganz durch die Wurst hindurchziehn, aufserdem aber dient der vortretende Theil des Pfahls auch zur Verbindung mit der folgenden Lage.

Parallel zu den Randwürsten werden andre Würste in gleicher Weise gelegt, die am vordern Theil der Lage von jenen und unter

sich 2 bis 3 Fuſs entfernt sind, sich aber rückwärts einander nähern, damit sie sämmtlich, ohne sich zu kreuzen, an den festen Theil des Werks angeschlossen werden können. Die obere Hälfte von Fig. 124. zeigt diese Anordnung. Es darf kaum erwähnt werden, daſs das Auflegen und Festnageln mehrerer Würste gleichzeitig erfolgt, jedoch darauf Rücksicht genommen wird, daſs die Leute sich nicht gegenseitig in ihren Verrichtungen stören.

Bei diesem Aufbringen und Befestigen der Würste entsteht die Schwierigkeit, daſs das Gehn und selbst das Stehn auf den losen Faschinen höchst unbequem ist. Die Arbeiter gewöhnen sich zwar bald daran, die Füſse immer quer über die Reiser zu setzen, wodurch sie ein tiefes Einsinken vermeiden, aber dennoch bleibt die Unbequemlichkeit so groſs, daſs ältere Arbeiter, wenn sie auch sonst tüchtig und kräftig sind, in diesem Falle nur wenig leisten. Das Legen der Würste, sowie das Einschlagen der kleinen Pfählchen erfordert indessen wenig Körperkraft, und wird um so leichter, je weniger der Arbeiter einsinkt oder je leichter er selbst ist. Man kann daher hierbei mit Vortheil jüngere Leute und selbst Knaben benutzen. Letztere sind überdies im Stande, die Randwurst weiter herauszulegen und besser zu befestigen, als ausgewachsne Personen, da sie von der schwimmenden Lage sicherer getragen werden. Wenn es auch nicht möglich ist, in den andern Theilen der Ausführung des Baues die Knaben so vortheilhaft wie hier zu beschäftigen, so fehlt doch nicht ganz die Gelegenheit dazu. Manche Verrichtungen können eben so gut durch schwächere, wie durch kräftige Arbeiter ausgeführt werden, wenn jene auch weniger leisten, oder Ablösungen häufiger eintreten müssen.

Zur Vervollständigung der Lage gehört endlich noch das Aufbringen des Beschwerungs-Materials. Die ganze Lage wird bis zu den Randwürsten beschüttet, jedoch nur so hoch, daſs sie nicht vollständig fortsinkt, sondern noch über Wasser bleibt. Besonders darf der vordere Theil der Lage nicht zu stark belastet werden, da er über die vorhergehende heraustritt und frei im Wasser liegt, weiter rückwärts äuſsern schon die darunter befindlichen Lagen mehr Widerstand gegen das Sinken, wenn sie auch noch nicht vollständig comprimirt sind. Die Quantität des aufzubringenden Materials ist aber theils nach dem specifischen Gewicht desselben und theils nach der Holzart und der Trockenheit der Faschi-

nen sehr verschieden. Die Einsenkung selbst mufs zum Maafsstabe für die Belastung dienen, und man darf dabei nicht vergessen, dafs die Lage nicht sogleich bis zu derjenigen Tiefe eintaucht, welche der Belastung entspricht, vielmehr, ohne dafs neues Material aufgebracht wird, nach und nach weiter herabsinkt, wozu das Eindringen des Wassers in das Strauch und die Entfernung der anfangs noch zurückbleibenden Luftbläschen Veranlassung giebt. Man mufs also die Belastung so sparsam aufbringen, dafs dieselbe noch einige Zolle hoch über Wasser bleibt. Wenn alsdann später eine tiefere Senkung eintritt, so verliert dieses Material bei der Eintauchung wieder einen Theil seines Gewichts, und man darf deshalb das vollständige Versinken nicht befürchten. Die einzelnen Reiser verlieren aber, wenn sie lange im Wasser gelegen haben, ihre Tragkraft, daher darf man nie darauf rechnen, die beschwerte Lage mehrere Tage hindurch schwimmend zu erhalten. Es ist sogar Regel, die neue Lage immer unmittelbar nach Beendigung der vorhergehenden, oder beim Wiederbeginn der Arbeit am folgenden Morgen zur Ausführung zu bringen. Im ersten Fall kann das Beschwerungs-Material reichlicher aufgebracht werden, was in Bezug auf die gleichmäfsige Vertheilung desselben in dem ganzen Körper des Baues vortheilhaft ist.

Bei der festen Verbindung und der Steifigkeit der ganzen Lage können einzelne Theile derselben nicht so tief eintauchen, wie dieses geschehen würde, wenn sie ganz frei wären. Bei ungleichmäfsiger Belastung wird die Lage zwar merklich gebogen, aber die am stärksten belasteten Stellen werden durch andre, die mehr Tragfähigkeit behalten haben, am tiefern Einsinken verhindert. Dieser Umstand ist in sofern vortheilhaft, als er eine ganz gleichmässige Vertheilung des Beschwerungs-Materials entbehrlich macht, die bei der gewöhnlichen Art der Ausführung auch nicht zu erreichen sein würde. Andrerseits aber folgt hieraus auch die Nothwendigkeit, beim Beschweren der Lagen vorsichtig zu Werke zu gehn, und nicht etwa einzelne Stellen, die zufälliger Weise schwach belastet waren, zuletzt noch stark zu beschütten, weil diese nicht nur sich selbst, sondern die ganze Lage schwimmend erhalten müssen. Besonders darf man nicht auf dem äufsern Theil der Lage das Beschwerungs-Material zu stark aufbringen, und es ist viel vortheilhafter und geschieht auch ziemlich allgemein, dafs man die neue

Lage zuerst an ihrem hintern Theil, wo sie sich an den festen Körper anschliefst, beschwert und von hier aus nach und nach, und zwar mit schwächerer Beschüttung, zum vordern Theil übergeht.

Um ein zu starkes Herabsinken der Lage während der Zwischenzeit bis zur Fortsetzung des Baues zu verhindern, ist es wichtig, schon beim Aufbringen des Beschwerungs-Materials das Wasser zwischen die Reiser, und namentlich zwischen die Blätter eintreten zu lassen und die Luft daraus herauszutreiben. Man erreicht dieses am sichersten durch starke Erschütterung. Im schwimmenden Theil der Lage tritt eine solche im hinreichenden Maafse schon beim Gehn der Arbeiter und Aufkarren des Sandes von sslbst ein. Bei zu starken Bewegungen würde hier aber leicht der Sand durch das lose Strauch hindurchfallen und vom Strom fortgetrieben werden. Die letzte Besorgnifs verschwindet für diejenige Stelle, wo bis zum Strombett herab eine Lage auf der andern ruht, aber eben dadurch zeigt sich hier auch schon eine gröfsere Festigkeit, welche Veranlassung giebt, dafs das Wasser in die neue oder obere Packung schwerer eindringt. Der Gebrauch der Handramme ist daher hier sehr wichtig und sogar nothwendig, doch darf dieselbe nicht früher in Thätigkeit gesetzt werden, als bis das Beschwerungs-Material aufgebracht ist, weil sonst die Würste und noch mehr die Pfähle leiden und der obere elastische Körper überhaupt in seiner Verbindung gelöst werden würde.

Ueber das Aufbringen des Senkmaterials ist noch Folgendes zu bemerken. Man stellt so viel Arbeiter, als ohne gegenseitige Störung geschehn kann, an den Sand- oder Kieshaufen vor der neuen Lage und läfst sie die ganze Masse auf diese werfen, wodurch eine starke Belastung des hintern Theils der neuen Lage entsteht. Wenn auf solche Weise der Haufen beseitigt ist, so werden die Karrdielen ausgelegt, und vom Ufer aus oder auch wohl von Kähnen, die zur Seite des Werks liegen, wird die Beschüttung nach und nach gegen den vordern Rand der Lage ausgedehnt, während am hintern Ende die Handramme kräftig gebraucht wird. Eine ganz gleichmäfsige Vertheilung des Materials ist zwar nicht möglich, doch mufs man dafür sorgen, dafs dieselbe nicht gar zu verschieden ausfällt, und man erreicht dieses besonders dadurch, dafs die Karrdielen häufig verlegt werden. Aufserdem müssen besondre Arbeiter zum Ausgleichen der beim Umstürzen der Karren aufge-

worfnen Sandhaufen angestellt werden. Im vordern Theil der Lage, wo die Aufschüttung gemeinhin nicht die Höhe der Würste erreicht, dienen letztere zur Beurtheilung der Gleichmäfsigkeit der Sanddecke. Wenn das Beschwerungs - Material auf diese Weise auf die neue Packung aufgebracht ist, so wird der Anschlufs an den bereits festliegenden Theil des Werks noch besonders beschwert, und man bildet hier wieder einen neuen Sand- oder Kieshaufen, der einestheils die vollständige Compression bewirken, anderntheils aber dazu dienen soll, das Material zur Belastung der folgenden Lage wenigstens zum Theil schon zur Stelle zu haben.

Nicht selten liegen dem neuzuerbauenden Buhnensystem gegenüber hohe Sand- und Kiesfelder, oder sogenannte Grandorte, und es empfiehlt sich alsdann schon in Betreff der geringern Kosten diese abzugraben und das so gewonnene Material in Kähnen an die in der Ausführung begriffnen Buhnen zu bringen. Man erreicht dabei noch den wichtigen Vortheil, dafs schon während der Einschränkung des Stroms seine Verbreitung auf der gegenüber liegenden Seite erfolgt. Die Kähne werden an der stromaufwärts gekehrten Seite der neuen Faschinenlage festgelegt, und sobald letzte mit den Würsten benagelt ist, kann der abgegrabne Sand oder Kies, ohne weitern Transport unmittelbar aufgeworfen werden. Doch ist dabei wieder Vorsicht nöthig, um zu verhindern, dafs nicht einzelne Stellen zu stark beschwert werden. Mehrere Arbeiter müssen daher das Material gleichmäfsig über die ganze Breite der Lage vertheilen.

Mit dem Bau der einzelnen Lagen wird in der angegebnen Art so lange fortgefahren, bis der festliegende Theil der letzten Lage in den Kopf der Buhne, d. h. in die Streichlinie fällt. Alsdann ist der untere Theil des Werks, den man in schwimmenden Lagen ausführen mufs, beendigt. Ueber die Art der Versenkung der letzten Lage soll später die Rede sein, zuvor mag das Verfahren bei Erhöhung des Baues bis zur erforderlichen Kronenhöhe beschrieben werden.

Das Packwerk ist nach der Ausführung und Vensenkung aller Lagen ziemlich horizontal abgeglichen, und zwar in der Höhe von etwa 1 Fufs über dem dermaligen Wasserstande. Seine Breite ist in der Oberfläche verschieden, und zwar in der Nähe des Ufers am gröfsten, weil bei gleicher Kronenbreite die Höhe der Krone hier

am bedeutendsten ist. Die Form und Höhe des noch fehlenden Körpers ergiebt sich aus dem Vorigen und seine Ausführung bietet keine Schwierigkeit, weil sie über Wasser erfolgt. Im Allgemeinen ist diese Construction aber wieder der frühern ähnlich. Es wechseln Faschinen und Erdlagen ab, da jedoch die Würste, die zur Verbindung der ersten auch hier nicht fehlen dürfen, nicht füglich anders als parallel zur Mittellinie des Werks liegen können, so werden die Faschinen in diesen obern Lagen quer über das Werk oder normal gegen die Achse, und zwar mit den Wipfelenden nach aussen gelegt. Die Vertheilung und Befestigung der Würste ist dieselbe, wie bei den andern Lagen, man pflegt aber in der Nähe der Krone die Pfähle in gröfserer Anzahl zu verwenden, um wegen der schwächern Belastung und des stärkern Angriffs durch den Strom und das Eis eine innigere Verbindung darzustellen. Die aufgebrachte Erde, besonders wenn sie etwas feucht ist, sinkt hier nicht so leicht in die Zwischenräume des Strauchs herab, wie unter Wasser, man mufs daher das Eindringen derselben durch starkes Abrammen befördern. Sollte dabei die Erde oder der Sand so stark fortsinken, dafs die Zwischenräume zwischen den Würsten nicht gehörig angefüllt sind, so bringt man schon vor dem Bau der folgenden Lage aufs Neue eine Schicht Senkmaterial auf. Ueber die Befestigung der obersten Lage oder der Krone des Werks wird später die Rede sein, wenn aber vor dem Aufbringen der letzten Schutzdecke ein merkliches Sacken an einzelnen Theilen oder im Ganzen bemerkt werden sollte, was namentlich der Fall ist, wenn die Belastung während des Baues nicht genügte, so mufs man vorher durch neue Faschinen-Lagen und neue Beschwerung derselben die Ausgleichung der Krone bewirken.

Bisher ist nur von demjenigen Verfahren die Rede gewesen, welches bei regelmäfsigem und ungestörtem Fortgange der Arbeit zur Anwendung kommt. Dieses ist nicht immer der Fall, da häufig ungewöhnliche Umstände besondere Maafsregeln fordern, auch manche Schwierigkeit nur durch die Schuld des Kribbmeisters herbeigeführt wird, und vermieden wäre, wenn die vorstehend entwikkelten Regeln immer gehörig beachtet und namentlich jedesmal für die erforderliche Länge der Lagen gesorgt würde. Unterläfst man diese Vorsicht, so stellen sich alle spätern Lagen sehr steil, verlieren ihr Beschwerungs-Material und der unter ihnen hindurchzie-

hende Strom vergröfsert die Tiefe. Durch starkes Aufpacken und Belasten gelingt es wohl, das ganze Werk endlich herabzudrücken, aber einerseits hat es alsdann die gehörigen Seitendossirungen und sonach die nöthige Festigkeit und Stabilität verloren, andrerseits aber böscht es sich auch an seinem Kopfe zu steil ab, wodurch die Wirbelbildung befördert und die Tiefe daselbst noch mehr vergrössert wird. Wenn ein Werk unter solchen Umständen ausgeführt ist, so kann es einem starken Angriff nicht widerstehn. Wenn dagegen der heftige Strom und die grofse Wassertiefe eine Unterbrechung des Baues veranlafsten, so ist der Wiederbeginn desselben um so schwieriger, als die Tiefe sich in der Zwischenzeit noch vergröfsert hat und alle Lagen vollständig herabgesunken sind. Auch der Mangel an Faschinen und an andern Baumaterialien führt zuweilen ähnliche Folgen herbei, und die Schwierigkeiten werden alsdann zuweilen so grofs, dafs man der Buhne die beabsichtigte Länge nicht geben kann und dadurch der Erfolg der ganzen Regulirung gefährdet wird.

Um dieses sicher zu vermeiden, darf kein Buhnenbau begonnen werden, wenn nicht das dazu erforderliche Material auf die Baustelle schon reichlich angeliefert ist. Aufserdem mufs es feste Regel sein, dafs der angefangne Bau nicht unterbrochen wird, wenn nicht etwa ein plötzliches hohes Anschwellen dieses unmöglich macht, in welchem Falle man aber dennoch für die Sicherung des ausgeführten Theiles sorgen mufs. Bei längern Buhnen läfst sich auch das Arbeiten an Sonntagen nicht umgehn.

Die Schwierigkeiten, denen man beim Packwerksbau zuweilen begegnet, beziehn sich vorzugsweise darauf, dafs die heftige Strömung das hinreichend weite Vortreiben der Ausschufslage verhindert, und es darf kaum bemerkt werden, dafs in solchem Falle die Schwierigkeit sich noch wesentlich vergröfsert, wenn schon die vorhergehenden Lagen nicht die gehörige Länge haben, und man sonach der in der Ausführung begriffenen noch diejenige Länge zusetzen mufs, um welche jene zu kurz sind.

Für den Fall, dafs die Tiefe während des Baues sich nicht ändert, ist es leicht, die erforderliche Länge jeder einzelnen Lage anzugeben, aber häufig ändert sich die Tiefe, während die Lage verbunden wird und herabsinkt. Diese Aenderung ist um so grösser, je weiter die Zwischenzeit sich ausdehnt. Eine solche Vertiefung

pflegt indessen nicht leicht ganz unerwartet einzutreten, und der aufmerksame Kribbmeister bemerkt sie schon bei denjenigen Lagen, wo sie ihrer Geringfügigkeit wegen nicht als wesentlich nachtheilig angesehn werden kann. Er nimmt alsdann bei der folgenden schon auf sie Rücksicht, und da die Voraussetzung einer grössern Vertiefung zwar die Ausführung etwas erschwert, aber an sich nicht nur unschädlich ist, sondern auch den fernern Bau erleichtert und das fertige Werk verstärkt, so ist es rathsam, beim Eintritt einer solchen Strömung, die eine Vertiefung besorgen läfst, für diese eine Gröfse vorauszusetzen, die nicht hinter der wirklichen zurückbleibt. Bei dieser Schätzung ist nicht nur die Stärke der Strömung zu beachten, sondern auch die Beschaffenheit des Grundes und besonders die Dauer der Zwischenzeit zwischen der Ausführung der Lage und ihrer vollständigen Versenkung.

Die ersten Faschinen jeder Reihe, welche in die Seitendossirung treffen und vor die vorhergehende Lage nicht vortreten, werden selbst bei heftigem Strome nicht fortgetrieben und bilden sogar einen kräftigen Schutz für die folgenden. Nichts desto weniger ist dieser zuweilen doch nicht genügend, um die anschliessenden Faschinen zu sichern, die vielmehr bald vom Strom erfafst und mit dem Wipfelende stromabwärts gekehrt werden. Sie verlieren dadurch ihre Richtung, sind also weniger geeignet, die folgenden zu halten, und aufserdem wird der eigentliche Zweck des Ausschusses dabei vereitelt, da sie nicht mehr hinreichend weit vortreten. Sobald sich daher dieser Uebelstand zeigt, mufs man demselben entgegenwirken, läfst man ihn unbeachtet, so lösen sich bald gröfsere Massen von Faschinen und treiben fort. Es ist hierbei indessen nicht nur die Bewegung der Faschinen in horizontaler Richtung zu besorgen, sondern da unter dem ganzen schwimmenden Theil des Werks ein starker Strom hindurchzieht, so stellt sich auf der vordern Seite eine abwärts gekehrte Bewegung im Wasser ein, welche die freiliegenden Wipfelenden der Faschinen häufig fafst und in die Tiefe zieht oder abwärts neigt.

Die Mittel, welche man in Anwendung bringen kann, um dieses zu verhindern, sind sehr verschieden. Hierher gehört zunächst, dafs man an der vordern Ecke, woselbst die Gefahr immer am gröfsten zu sein pflegt, unbelaubte und trockne Faschinen auslegt, die einestheils das Wasser weniger aufhalten und daher einen

schwächern Druck erfahren, anderntheils aber wegen des geringern specifischen Gewichts auch nicht so leicht herabgezogen werden. Je gröfser die Anzahl der hinter einander liegenden und gleich weit vortretenden Faschinen ist, um so mehr vertheilt sich der Stofs auf sie, und man kann daher in einiger Entfernung von dieser Ecke wieder andre Faschinen anwenden.

Sodann hat man zuweilen die Gewohnheit, an den Stellen, wo der Angriff am stärksten ist, recht feste und gut gebundne Faschinen auszulegen, und jede derselben mit zwei Pfählen an die vorhergehende Lage oder an die bereits ausgeworfne Reihe festzunageln. Schemerl räth sogar, dieses Verfahren bei allen Faschinen des Ausschusses anzuwenden. Die hierdurch herbeigeführte Verzögerung steigert indessen die Gefahr, und sonach dürfte es zweifelhaft sein, ob dieses Verfahren wirklich vortheilhaft ist.

Ein andres Mittel, welches man häufig anwendet, und wodurch bei mäfsigem Angriff des Stroms Unordnungen in der Ausschufslage ziemlich sicher verhindert werden, besteht darin, dafs man, wie Fig. 127. zeigt, ein Stück Wurst über den bereits dargestellten Theil der Reihe wirft und das vordre Ende desselben festnagelt. Die Wurst an sich würde wenig an den darüber geworfnen Faschinen haften und daher das Forttreiben derselben auch nicht hindern, dieses geschieht aber, wenn ihr freiliegendes oder schwimmendes Ende mit einer Menge von kreuzweise eingesteckten Pfählen versehn ist, an welche die Faschinen sich lehnen. Man nennt diese Vorrichtung einen Bock. Dabei wird aber das unmittelbare Aufliegen und Ineinandergreifen der Faschinen verhindert, und es ist nicht rathsam, von diesem Mittel zu häufig Gebrauch zu machen, es vielmehr nur anzuwenden, wenn die regelmäfsige Verpackung in Folge des heftigen Stroms unmöglich wird.

Sodann wendet man zuweilen mit gutem Erfolg das in Fig. 129. auf Taf. XVI. dargestellte Verfahren an. Man sucht nämlich recht feste Faschinen aus und bindet davon je zwei zusammen, so dafs eine kreuzförmige Verbindung entsteht. Mit dem Verlegen wird wieder an der stromaufwärts gekehrten Ecke der schwimmenden Lage der Anfang gemacht, und jedes einzelne Faschinenpaar wird mit einem Sturzende gegen die Randwurst gestützt und mit dem andern an dieselbe festgenagelt. Wenn Alles gehörig vorbereitet ist, geht diese Arbeit, wobei für jedes Paar nur ein Pfahl

erforderlich ist, recht rasch von statten, und indem die einzelnen Kreuze, von denen hier nur drei gezeichnet sind, sich gegen einander lehnen und ziemlich geschlossen verlegt werden können, so ist die ganze Reihe derselben hinreichend befestigt, um einer heftigen Strömung Widerstand zu leisten. Die Ueberkreuzung der Faschinen hat freilich wieder den Nachtheil, dafs hohle Räume bleiben, die sich nicht leicht ausfüllen lassen und erst bei starker Beschwerung verschwinden. Dieses findet jedoch nur in dem Theile der Lage statt, welche das Strombett unmittelbar bedeckt. Der Vortheil dieses Verfahrens besteht aber darin, dafs man nicht nur die Ausführung einer einzelnen Faschinenreihe, sondern die der ganzen Ausschufslage auf diese Weise sicher stellt.

Die sogenannten schwebenden Lagen sind ferner ein Mittel, um bei heftiger Strömung den Ausschufs weit vorzutreiben. Es ist mehrfach erwähnt worden, dafs die Faschinen um so sichrer liegen, je vollständiger die ganze Reihe derselben bereits dargestellt ist. Wenn man daher diese Reihen nicht auf dem Wasser schwimmend, sondern über demselben schwebend bildet und sie erst eintauchen läfst, wenn sie schon vollständig verlegt sind, so ist die Gefahr einer Zerstörung sehr vermindert, und dieselbe verschwindet beinahe ganz, wenn mehrere sich überdeckende Faschinenreihen gleichzeitig herabsinken. Man steckt, wie Figur 130. zeigt, starke Aeste in die vorhergehende Lage und stöfst sie so tief herab, dafs sie einem bedeutenden Druck Widerstand leisten können, bevor sie sich senken. Alsdann lehnt man die erste Faschinenreihe des Ausschusses flach dagegen, und stellt auf diese die zweite Reihe und so fort, bis endlich durch das zunehmende Gewicht der ganze Ausschufs auf einmal in das Wasser sinkt. Dieses Verfahren wird namentlich an der Elbe im Jerichower Kreise mit sehr günstigem Erfolge seit langer Zeit befolgt, sobald zu besorgen, dafs beim gewöhnlichen Verlegen der Faschinen dieselben forttreiben möchten. Aus den angelieferten Kiefern-Faschinen werden recht gerade und am Stammende 1½ bis 2 Zoll starke Reiser ausgesucht, die man als Tragreiser benutzt. Man schlägt die untern Seitenzweige ab, spitzt die Stammenden an, und steckt sie so in die vorhergehende noch schwimmende Lage, dafs sie sich etwa in ihrer halben Höhe überkreuzen, wodurch ein inniger Zusammenhang dargestellt und das Niederfallen einzelner Tragreiser, die vielleicht zufällig nicht

hinreichende Unterstützung finden, verhindert wird. Besonders in der stromaufwärts gekehrten Ecke werden sie ziemlich nahe gestellt und der Strömung entgegen gerichtet. Indem man die Faschinen, welche den Ausschufs bilden, gehörig schliefsend dagegen lehnt, so neigen sich die Tragereiser gleichmäfsig abwärts, und wenn sie endlich in das Wasser eintauchen, so ist die Ausschufslage bereits vollständig dargestellt und findet in ihnen noch eine kräftige Stütze gegen den Strom.

Endlich ist noch der Schwimmbaum zu erwähnen, durch welchen das Forttreiben einzelner Faschinen oder der ganzen Ausschufslage verhindert wird. Derselbe wurde früher bei den Bauten am Rhein im Düsseldorfer Regierungsbezirk vielfach benutzt, so oft in starker Strömung der Ausschufs weit vorgetrieben werden mufste. Ein Stück Rundholz, welches so lang ist, dafs es die ganze Breite der Lage umfafst, befestigt man mittelst eines Taues an das Ufer oder an einen Anker, so dafs es, wie Fig. 131. zeigt, in geringem Abstand vor der bereits fertigen Lage schwimmt. Bei starker Strömung liegt es hier nicht ruhig, sondern treibt seitwärts hin und her. Man mufs alsdann einen Arbeiter auf die schwimmende Lage stellen, der den Baum mit einem Bootshaken festhält. Die Faschinen werden nunmehr in gewöhnlicher Weise ausgeworfen, fallen jedoch nicht in das Wasser, sondern liegen ohnfern der Wipfelenden auf dem Schwimmbaum, durch den sie getragen und zugleich in ihrer Lage gehalten werden. Die nächste Reihe Faschinen läfst sich auch noch über den Baum werfen, ohne dafs die Stelle desselben verändert werden müfste. Er darf jedoch nicht zu sehr belastet werden, weil es sonst zu schwierig sein würde, ihn später weiter zu schieben. Sobald daher einige Reihen Faschinen ausgeworfen sind, stöfst man den Baum mittelst langer Haken, die man an beiden Enden und wo sonst Gelegenheit dazu vorhanden ist einsetzt, weiter hinaus, man darf ihn aber nicht bis vor die äufserste Faschinenreihe treiben, weil diese bei der vorausgesetzten starken Strömung noch der Unterstützung bedarf. In solcher Weise läfst sich selbst eine weit vortretende Ausschufslage ausführen. Der Baum trägt fortwährend ihr vorderes Ende und sichert dasselbe gegen den Stofs des Wassers. Er bleibt auch an seiner Stelle, während die Rücklage gepackt wird, und erst wenn die Würste aufgebracht und festgenagelt sind und die Beschwerung auf den vordern

Theil zu wirken anfängt, zieht man ihn an dem Tau, woran er befestigt ist, heraus. Beim Beginn der folgenden Lage wird er wieder in solcher Entfernung gehalten, dafs die Faschinen mit den Wipfelenden ihn erreichen. Man kann auf diese Weise selbst ungewöhnlich lange Lagen, oder sogenannte Senklagen ausführen, die jedoch bis zu ihrer Vollendung und Versenkung nicht nur von einem einzigen Baume getragen werden, sondern in gewissen Abständen von etwa 18 oder 24 Fufs immer auf einem Schwimmbaum ruhn, und daher an diesen Stellen gehalten werden, bis nach und nach, wenn die Versenkung erfolgt, ein Baum nach dem andern und zuletzt der äufserste herausgezogen wird. Von diesen Senklagen wird im Folgenden ausführlicher, und zwar bei Gelegenheit der Sicherung der Packwerke die Rede sein.

Die Ausführung der Uferdeckungen, und zwar eben sowohl wenn dieselben vom Ufer getrennt sind, als wenn sie unmittelbar davor liegen, stimmt genau mit der der Buhnen überein. Dabei ist nur zu bemerken, dafs man bei solchen Uferdeckungen an dem stromaufwärts gekehrten Ende den Anfang macht, so dafs man die Faschinen nicht gegen den Strom, sondern mit demselben auswirft. Es pflegen sich hierbei nicht leicht Schwierigkeiten einzustellen, welche irgend eine Maafsregel zur Sicherung der Ausschufslagen erforderlich machen. Anders verhält es sich jedoch, wenn man die sämmtlichen Lagen der Uferdeckung an das Ufer anschliefsen will. Es ist schon früher erwähnt, dafs bei dieser Bauart keine regelmäfsigen Dossirungen dargestellt werden können, sie hat aber ausserdem noch den grofsen Nachtheil, dafs die Verpackung der Faschinen sehr erschwert wird. Es empfiehlt sich daher, auch bei Uferdeckungen die für den Buhnenbau bezeichnete Constructionsart zu befolgen und jede neue Lage an die vorhergehende anzuschliessen. Im Querschnitt des fertigen Werks werden alsdann alle Lagen durch horizontale Linien begrenzt, wie Fig. 132. zeigt.

Man nennt die aus Faschinen erbauten Uferdeckwerke, die unimittelbar am Ufer liegen, gewöhnlich Bleswerke. Diese Benennung ist im nördlichen Deutschland ziemlich allgemein verbreitet, wiewohl sie in der Holländischen Sprache, aus der sie entnommen st, eine andre Bedeutung hat. Blesen (Haare) sind nämlich die Wipfelenden der Faschinen, eine Bleslage ist daher eine solche, bei der, im Gegensatz zu der in den Niederlanden üblichen Construc-

tionsart, die Wipfelenden nach aufsen gekehrt sind, und dieses geschieht dort nur bei Senklagen.

Es ist schon wiederholentlich darauf aufmerksam gemacht worden, wie nachtheilig jede Unterbrechung eines Packwerksbaues ist. Bevor eine solche eintritt, mufs man die letzte fertige Lage vollständig versenken, und damit das Beschwerungs-Material während der Zeit, dafs es frei liegt, nicht fortgespült wird, mufs man hierzu Steine oder wenigstens recht groben Kies verwenden. Beim Wiederbeginn der Arbeit tritt die Schwierigkeit ein, dafs man den Ausschufs in den nächsten Lagen viel weiter vortreiben mufs, als es bei regelmäfsiger Fortsetzung des Baues nöthig gewesen wäre. Aufserdem ist gemeinhin während der Unterbrechung eine bedeutende Vertiefung vor dem angefangnen Werke eingetreten, welche die Fortsetzung gleichfalls erschwert und zugleich einen ansehnlichen Mehrbedarf an Faschinen und anderm Material zur Folge hat. In vielen Fällen, und namentlich wenn ein unerwartetes Anschwellen des Stroms eintritt, ist die Unterbrechung des Baues zwar unvermeidlich, zuweilen wird sie aber nur dadurch veranlafst, dafs die Lieferung der Materialien nicht rechtzeitig erfolgt, und die Vorräthe auf der Baustelle erschöpft sind. Gegen Zufälligkeiten dieser Art sichert man sich, wenn man den Bau einer Buhne nicht früher beginnt, als bis das dazu erforderliche Material bereits zur Stelle geschafft ist. Vertiefungen, die während des Baues eintreten, können indessen einen grofsen Mehrbedarf veranlassen, und da eine lange Buhne nicht schnell beendigt werden kann, so ist oft die Erwartung berechtigt, dafs das noch fehlende Material rechtzeitig angeliefert werden wird. Bei den grofsen Nachtheilen einer Verzögerung mufs man aber, wenn jene Erwartung nicht in Erfüllung geht, möglichst bald von der im Contract ausbedungenen Berechtigung Gebrauch machen, das Fehlende auf Kosten des Lieferanten aus freier Hand anzukaufen. Solche Strenge rechtfertigt sich um so mehr, wenn die Lieferung, wie oft geschieht, nur deshalb verzögert wird, weil der Unternehmer einen höhern Wasserstand und in Folge dessen billigere Frachten abwartet. Der niedrige Wasserstand ist aber für Strombauten der günstigste und darf daher nicht unbenutzt bleiben.

Die Zunahme der Tiefe vor dem Kopfe der fertigen Buhne, wodurch der spätere Angriff des Stroms auf dieselbe verstärkt wird,

so wie auch die Vertiefung während des Baues vor dem bereits dargestellten Theile, läfst sich durch Senklagen vermeiden. Dieselben sind auch bei Uferdeckwerken, wo sie sich besonders leicht darstellen lassen, von grofsem Nutzen, und oft vertreten sie sogar allein die Stelle der letzten. Sie bestehn aus möglichst flachen Lagen, welche nicht nur unter dem ganzen Werk sich hinziehn, sondern auch vor dem Kopfe und zur Seite so weit vortreten, dafs während der Ausführung und nach der Beendigung des Baues eine starke Vertiefung nicht eintreten kann. Die Beschwerung mit feinem Material ist dabei unzulässig, weil bis zu ihrer Ueberdeckung eine starke Strömung darübergeht, man mufs also Steine verwenden. Fig. 134. zeigt das Vortreten einer Senklage vor einem Bleswerke.

Zu gleichem Zweck werden häufig auch Senkfaschinen und selbst Senkstücke benutzt. Letzteres geschieht namentlich bei den Strombauten an der Weichsel.

Bei Veranschlagung der Packwerke kommt es zunächst darauf an, den cubischen Inhalt derselben zu finden. Man kann diesen, wenn die Tiefenmessungen vollständig sind, in jeder beliebigen Schärfe berechnen, aber es ist überflüssig in einer Rechnung, wo die zum Grunde gelegten Data sehr unsicher sind, indem die Tiefen während der Ausführung des Baues sich häufig ändern, das Resultat in grofser Schärfe darstellen zu wollen. Andrerseits mufs man sich aber auch vor groben Fehlern hüten, wie dieses etwa geschieht, wenn man nur die mittlere Tiefe und die Länge des Werks der Rechnung zum Grunde legt. Wenn ein Bau mehrere Hundert, oder, wie bei grofsen Strömen nicht selten, mehrere Tausend Thaler kostet, so darf man den geringen Zeitaufwand von etwa einer Viertelstunde nicht scheuen, um den Material-Bedarf und Kostenbetrag ungefähr richtig zu ermitteln. Jene Methode, wobei die mittlere Tiefe eingeführt wird, ergiebt jedesmal den cubischen Inhalt zu klein, und in manchen Fällen, besonders wenn die Tiefen sehr verschieden sind, beträgt der Fehler sogar den vierten oder dritten Theil des ganzen Werthes. Man meint alsdann, dafs eine grofse Vertiefung während des Baues eingetreten sei, während die Unzulänglichkeit des veranschlagten Quantums allein in der unrichtigen Rechnung ihren Grund hatte. Die Berechnung, die ich hier

mittheile, stimmt mit der am Preufsischen Unterrhein üblichen nahe überein, sie ist ziemlich einfach und frei von groben Fehlern.

Man setzt voraus, dafs die Tiefe sich nur in der Längenrichtung des Werks ändert, und für jeden Querschnitt constant ist. Man mifst in gewissen gleich grofsen Abständen in der Mittellinie die Tiefen, zeichnet hiernach das Profil und trägt die Krone und die Kopfböschung ein, wie Fig. 136. *a* auf Taf. XVII. zeigt. Die Berechnung erfolgt in der Art, dafs man das Werk zunächst so weit ergänzt denkt, dafs es durch die Vertikal-Ebne begrenzt wird, welche den Fufs der Kopfdossirung schneidet (Fig. 137.). Der cubische Inhalt des ganzen Körpers wird alsdann eben so ermittelt, wie man Dammschüttungen, Grabenarbeiten und dergl. berechnet. Man sucht nämlich für diejenigen Stellen, in welchen die Tiefen gemessen sind, die Flächeninhalte der Querprofile, wie M und N Fig. 137., die halbe Summe derselben mit ihrem horizontalen Abstande multiplicirt ergiebt das Volumen des zwischenliegenden Körpers. Bei dieser Berechnung wird die Neigung der Krone sogleich mit berücksichtigt, man mufs aber den Abstand der Profile nicht in der Ebne der Krone, sondern horizontal, also im Grundrifs messen. Wenn auf diese Weise der cubische Inhalt des ganzen Körpers gefunden ist, so wird das keilförmige Stück, welches nicht zur Ausführung kommt, in Abzug gebracht. Dasselbe ist ein dreiseitiges, an beiden Enden schräg abgeschnittnes Prima, dessen Querschnitt die Fläche BCE ist, die in der Ebne des Längenprofils liegt (Fig. 136. *a*).

Von dem Punkte A an, wo die Krone das Ufer trifft, mifst man in der Mittellinie des Werks in den horizontalen Abständen $= a$ von einander, die Höhen der Krone und der Verlängerung derselben über dem Ufer und dem Flufsbette. Diese Höhen, die mit Null beginnen, seien h, h', h'' . . . . $h^{(n)}$, und da nicht anzunehmen, dafs eine dieser Höhen gerade in den Fufs der Kopfböschung fällt, so ermittelt man nach dem aufgetragenen Profil noch den Werth der hier stattfindenden Höhe, die gleich H sei. Der horizontale Abstand der letzten Höhenlinie H von der nächst vorhergehenden $h^{(n)}$, also FC sei

$$k = ra$$

wo k immer kleiner als a, also r ein ächter Bruch ist.

Die beiden Seitenböschungen der Buhne seien verschieden, nämlich m und n, oder nach gewöhnlichem Sprachgebrauch $m$füfsig und $n$füfsig, und die Kronenbreite gleich b. (Fig. 136. b)

Hieraus ergiebt sich der Flächeninhalt eines Querprofils, dessen Höhe gleich h ist

$$P = bh + \tfrac{1}{2}(m+n)\,hh$$

und eben so $P' = bh' + \tfrac{1}{2}(m+n)\,h'h'$

daher der cubische Inhalt des zwischen h und h' liegenden Theils des Werks

$$q = \tfrac{1}{2}ab\,(h+h') + \tfrac{1}{4}a\,(m+n)\,(hh+h'h')$$

Der ganze Inhalt des bis C verlängerten Werks ist sonach

$$Q = ab\left[h + h' + h'' + \ldots\ldots h^{(n-1)} + \frac{(1+r)\,h^{(n)} + r\,H}{2}\right]$$

$$+\tfrac{1}{2}a(m+n)\left[hh + h'h' + \ldots.h^{(n-1)}h^{(n-1)} + \frac{(1+r)h^{(n)}h^{(n)} + r\,HH}{2}\right]$$

Für das keilförmige Stück ist der Querschnitt, in der Ebne des Längenprofils gemessen, wenn man $BD = l$ setzt, und die Neigung der Krone, wie gewöhnlich sehr geringe ist, gleich $\tfrac{1}{2}lH$. Die Längen der drei parallelen Kanten des auf beiden Enden schräg abgeschnittnen Prismas sind

in B gleich b
in C gleich b
in E gleich $b + (m+n)\,H$

daher der cubische Inhalt dieses Stücks

$$q = \tfrac{1}{2}lH\,[b + \tfrac{1}{3}(m+n)\,H]$$

und das gesuchte Volumen der ganzen Buhne ist

$$Q - q.$$

Indem die Länge BD sich erst aus dem Profil ergiebt, nachdem man die vorher gemefsnen Tiefen aufgetragen hat, so kennt man während der Messung noch nicht den Punkt C im Fufs der Kopfböschung, man kann also die Tiefe H nicht unmittelbar messen, sondern nur annähernd bestimmen, indem man die Tiefen in der Figur mit einander verbindet. Bei dieser Unsicherheit, und da eine grofse Schärfe doch nicht zu erreichen ist, auch wegen der möglichen Aenderungen und unvermeidlichen Unregelmäfsigkeiten ganz nutzlos wäre, so empfiehlt es sich, nach dem Auftragen des Profils den horizontalen Abstand des Anfangspunktes A vom Fufs-

punkt der Kopfböschung oder von C in eine Anzahl gleicher Theile zu zerlegen, deren Länge a' sich nur wenig von der frühern a unterscheidet. Die entsprechenden Höhen h, h' . . . werden aus dem Profil entnommen. Man erreicht dadurch den Vortheil, dafs $r = o$ und $H = h^{(n)}$ wird. Bezeichnet man diese Längen wieder mit a, so ist

$$Q = ab\,(h + h' + h'' + \ldots + h^{(n-1)} + \tfrac{1}{2}h^{(n)})$$
$$+ \tfrac{1}{2}\,a\,(m+n)\,(hh + h'h' + h''h'' + \ldots h^{(n-1)}\,h^{(n-1)} + \tfrac{1}{2}\,h^{(n)}h^{(n)})$$

und $q = \frac{1}{2}\,l\,h^{(n)}\,[b + \frac{1}{3}\,(m+n)\,h^n]$

Sind die beiderseitigen Dossirungen wie gewöhnlich einfüfsig, so wird der Factor

$$m + n = 2$$

Wieviel man dem so gefundnen cubischen Inhalt wegen der zu erwartenden Vertiefung zusetzen mufs, hängt von den besondern Lokal-Verhältnissen ab, es läfst sich also im Allgemeinen keine Regel dafür angeben. Jedenfalls ist der erforderliche Zusatz um so geringer, je schneller man den Bau zur Ausführung bringt, und bei schneller Arbeit pflegt er sich oft unmerklich klein herauszustellen.

Die Rechnung ist nach diesen Formeln nicht mühsam. Es genügt vollkommen, die Werthe von h bis auf Zehntheile eines Fufses zu kennen. Eben so darf man in den Quadraten von h die zweiten Decimal-Stellen vernachlässigen.

Der vorstehenden Berechnung ist das ganze Profil mit Einschlufs der Krone zum Grunde gelegt. Wenn man aber die Krone und vielleicht auch die Böschungen mit einer Steindecke versehn will, so mufs man zwar den Rauminhalt der letztern besonders ermitteln, um das erforderliche Steinquantum zu finden, man darf aber nicht übersehn, dafs eben diese stärkere Belastung auch eine gröfsere Compression zur Folge hat, woher der cubische Inhalt des darunter befindlichen Packwerks eine gröfsere Quantität Material erfordert, als wenn diese Belastung fehlt. Bei Ausführung des Baues nach der beschriebnen Methode, wonach grofse Sand- oder Kiesmassen auf dem fertigen Theil des Werks abgelagert werden, ist zwar unter der Krone ein starkes Zusammensinken nicht mehr zu besorgen, wohl aber pflegt dieses, sobald Steine aufgebracht werden, noch in den Böschungen einzutreten.

Man pflegt den cubischen Inhalt des Packwerks in Cubik-

ruthen auszudrücken, und für jede Cubikruthe 8 bis 10 Schock Faschinen von den oben angegebnen Dimensionen anzunehmen. Wenn jede Faschine 3 Cubikfuſs hielte, so würden etwa 9½ Schock für eine Cubikruthe erforderlich sein. Dieses ist jedoch nicht der Fall, indem selbst zwischen den möglichst dicht gepackten Faschinen noch bedeutende Zwischenräume bleiben, und aufserdem die einzelnen Lagen durch die querüber gelegten Würste und das Beschwerungs-Material von einander getrennt werden. Andrerseits vermindert sich aber bei starker Compression auch der cubische Inhalt der Faschinen, und besonders geschieht dieses, wenn sie aus solchen Straucharten bestehn, deren Zweige von den Hauptästen stark divergiren. Auch vermindert sich die Masse der Faschinen beim Abfallen des Laubes. Der wirkliche Bedarf ist von allen diesen Umständen abhängig, und sonach sind auch die Veranschlagungs-Sätze nicht an allen Strömen dieselben. Wo keine starke Compression stattfindet, pflegt man 8 Schock, dagegen bei starker Compression, also namentlich wenn der fertige Theil des Werks sogleich mit grofsen Kiesmassen beschüttet wird, 10 Schock zu rechnen.

In dieser Strauchmasse ist zugleich das zum Anfertigen der Würste erforderliche Holz mit inbegriffen, dagegen müssen die Bindweiden besonders angekauft werden. Die Anzahl derselben läfst sich zwar leicht bestimmen, wenn man die Länge der nöthigen Würste kennt, jedoch mufs man dabei auf einen starken Ausfall rechnen, da viele Ruthen während der Zurichtung brechen oder aus andern Gründen unbrauchbar werden. Man pflegt daher anzunehmen, dafs die angelieferte Anzahl derselben den wirklichen Bedarf um die Hälfte übersteigt, oder wenn man zwei Schock gebraucht, so bestellt man, um den unvermeidlichen Ausfall zu decken, deren drei. Indem der Verlust immer um so gröfser ist, je länger die Bindweiden gelegen haben, so empfiehlt es sich besonders, sie möglichst kurze Zeit vor der Verwendung in benachbarten Werdern zu schneiden.

Die Gesammtlänge aller Würste für einen bestimmten Bau liefse sich zwar genau finden, wenn man die Oberfläche aller einzelnen Lagen ermitteln und zugleich auf die Darstellung der Krone Rücksicht nehmen wollte, wovon im Folgenden die Rede sein wird. Eine solche Berechnung würde indessen wegen der vielen Zufällig-

keiten bei der Ausführung immer nicht sicher sein, man zieht es daher vor, den Bedarf an Würsten nach dem Cubikinhalt der ganzen Packwerksmasse anzunehmen. Wenn die Lagen 3 Fuſs stark sind, so giebt die Cubikruthe Packwerk eine Oberfläche von 576 Quadratfuſs, und man kann nach dem, was oben über die Entfernung der Würste von einander mitgetheilt ist, dafür 350 laufende Fuſs Würste rechnen. Dieses pflegt man gewöhnlich anzunehmen, wenn man aber gezwungen ist, häufig Pülv-Lagen anzubringen, und sonach der gröſste Theil der Lage eine geringere Dicke erhält, so genügt dieser Satz nicht und man muſs alsdann 500 Fuſs rechnen. Es kommt dabei auch noch in Betracht, daſs in starker Strömung die Lagen fester verbunden und sonach die Würste einander mehr genähert werden müssen, als sonst erforderlich wäre.

Die Anzahl der nöthigen Pfähle ergiebt sich leicht aus der Länge der Würste. Schlägt man sie in Abständen von 1 Fuſs ein, so braucht man bei dem bezeichneten Bedarf an Würsten für eine Cubikruthe Packwerk 6 Schock Pfähle, und dieses ist als Mittelsatz bei der Veranschlagung zu betrachten. Wird der Bau in geringer Strömung ausgeführt, so genügen auch 4 Schock, oder halb so viel Pfähle als Faschinen. Bei dünnen Lagen dagegen und wo es darauf ankommt, durch diese Pfähle die Lagen, während sie noch schwimmen, recht fest zu verbinden, kommt die Anzahl der erforderlichen Pfähle derjenigen der Faschinen gleich, und man rechnet auf die Cubikruthe bis 10 Schock.

Noch weniger läſst sich der Bedarf an Beschwerungs-Material allgemein bezeichnen. Je feiner dasselbe ist, um so gröſser ist der Verlust, indem es um so leichter durch die leeren Räume der schwimmenden Lagen hindurchfällt, und vom Strom fortgetrieben wird. Sodann ist das specifische Gewicht dabei von groſsem Einfluſs, man braucht um so mehr, je kleiner dieses ist. Im heftigen Strome werden ferner beim Herabsinken der Lagen gröſsere Quantitäten abgespült, als in schwachem, und endlich werden auch die Packwerke sehr verschiedenartig comprimirt, so daſs eine gröſsere Faschinen-Anzahl bei Darstellung eines gleichen Volums auch eine gröſsere Masse Beschwerungs-Material bedingt. Hiernach rechnet man auf die Cubikruthe 5, bisweilen auch nur 4 Schachtruthen, unter ungünstigen Umständen aber und bei aus-

getrockneten Faschinen, namentlich wenn sie aus hartem Holz bestehn, sogar 8 und selbst 9 Schachtruthen.

Nachdem vorstehend die bei uns und im nördlichen Deutschland übliche Constructionsart der Packwerke ausführlich beschrieben, mag noch mitgetheilt werden, in welcher Art in den Niederlanden ähnliche Anlagen ausgeführt werden. In der Anordnung der dortigen Werke findet die wesentliche Abweichung von den hier vorgetragenen Regeln statt, dafs sie, wie bereits §. 24. erwähnt, beinahe nie gegen den Strom gekehrt werden, vielmehr liegt die obere und längste Buhne stark abwärts oder declinant und die folgenden kürzern sind senkrecht auf das Ufer gerichtet. Schon diese Anordnung, wie wenig sie auch dem Zweck der Stromregulirung entspricht, beseitigt manche Schwierigkeiten in der Ausführung. Dazu kommt noch, dafs eine wesentlich verschiedene Art der Verwendung des Materials stattfindet. Die Kostbarkeit gröfserer Steine verhindert die Benutzung derselben bei allen Strombauten, nur in der Nähe der Preufsischen Grenze wird in neuerer Zeit davon Gebrauch gemacht. Im Allgemeinen giebt man den Buhnen solche Formen und führt sie in der Art aus, dafs die möglichst geringste Quantität Material dabei zur Verwendung kommt. Man packt daher die Faschinen kreuzweise übereinander und hütet sich, grofse Massen Beschwerungs-Material aufzubringen, wodurch die Compression befördert und der Bedarf an Strauch vermehrt würde. Die Seiten-Dossirungen bleiben sehr steil, wogegen die Krone etwas breiter gemacht wird, als sonst üblich, um dem Werke einige Stabilität zu geben. Die Faschinen werden indessen mit grofser Vorsicht ausgesucht. Sie dürfen nur junge und recht lange Reiser enthalten und müssen sogar 44 Palm oder 14 Fufs lang sein, woher ihr Preis sich unverhältnifsmäfsig hoch stellt. Dabei wird aber andrerseits auch sehr schlechtes Material, wie Abfälle des Strauchs, Stroh und selbst Heidekraut mit eingepackt.

In früherer Zeit wurden die Packwerksbauten in den Niederlanden von den Communen ausgeführt, da sie nur den Schutz der Ufer bezweckten. Sie zeigten wohl manche Verschiedenheit in Betreff des Materials und der Ausführung, doch waren sie im Allgemeinen höchst unhaltbar und bedurften daher nach jedem Hochwasser sehr bedeutender Reparaturen.

Die folgende Beschreibung bezieht sich auf eine verbesserte Constructionsart, wie solche von Baud *) empfohlen wird. Die Faschinen in der Rücklage sind dabei nicht mehr kreuzweise übereinander gepackt, auch findet schon eine stärkere Beschwerung des Werks statt. Nichts desto weniger treten die Eigenthümlichkeiten der Holländischen Bauart dabei dennoch deutlich hervor. Fig. 138. stellt eine schwimmende Faschinenlage dar, welche mit Ausnahme des mittlern Theils mit Beschwerungs-Material bedeckt und worauf ein Theil des Ausschusses zur Darstellung einer neuen Lage bereits sichtbar ist. Beim Beginn dieser neuen Lage werden parallel zur Achse des Werks Faschinen ausgeworfen, deren Wipfelenden auswärts gekehrt sind. Diese Faschinen sind gemeinhin keinem starken Stofs des Wassers ausgesetzt und werden von der folgenden Schicht gekreuzt. Uebrigens werden sie noch von den aus der vorhergehenden Lage vortretenden Enden der Würste gehalten, welche zu diesem Zweck mit mehrern durchgesteckten Pfählen versehn sind. Das Auswerfen dieser ersten Faschinenreihe, so wie aller folgenden beginnt an der vom Ufer abgekehrten Ecke, die an der obern Seite der Figur liegt. Eben daselbst fängt man auch an, die Querfaschinen aufzupacken, welche den eigentlichen Körper des Ausschusses bilden und sonach in mehrern Schichten übereinander liegen. Man legt dieselben in der Art, dafs ihre Stammenden auf der Stromseite etwas vorstehn, sollte aber das Werk auch an der andern Seite einen Angriff des Stroms besorgen lassen, so legt man die letzten von diesen Faschinen in der entgegengesetzten Richtung aus, damit auch hier die Stammenden den Ausschufs begrenzen. Sobald die Lage an der stromwärts gekehrten Seite die volle Höhe hat, so wirft man Würste von etwa 30 Fufs Länge darüber und zwar so, dafs deren Enden theils auf die fertige Lage, theils aber über den Ausschufs herausreichen. Sie werden mit Faschinenpfählen an jene, wie an die losen Faschinen genagelt, und durch ihre äufsern Enden sind schon vorher kreuzweise mehrere Pfähle hindurchgesteckt, damit die untere Faschinenreihe des folgenden Ausschusses davon gehalten wird. Ist in dieser Weise die Ausschufslage in ihrer ganzen Breite beendigt, so bildet man die Rück-

---

*) *Proeve van eenen Cursus over de Waterbouwkunde door F. Baud. II Deel*, 1838.

lage oder die Decklage. Dieses geschieht, indem man, von beiden Seiten des Ausschusses beginnend, Faschinen neben einander und über einander legt, deren Stammenden immer nach aufsen gekehrt sind, und welche mit der Mittellinie des Werks ungefähr halbe rechte Winkel bilden. Indem die Faschinen hiernach unter rechten Winkeln zusammentreffen, so müssen sie in der Mittellinie der Lage mit Vorsicht geordnet werden, weil sie sonst den Raum nicht füllen oder stellenweise eine zu starke Anhäufung des Materials veranlassen würden. Man vermeidet dieses am einfachsten dadurch, dafs man die Faschinen, und zwar nicht einzeln, sondern in grössern Massen, bald von der einen und bald von der ándern Seite über die Mittellinie hinübertreten läfst, an welchen Stellen die von der andern Seite anschliefsenden zurückbleiben, wodurch eine Art von Verzahnung entsteht. Dieselbe ist zwar an sich ohne grofsen Nutzen, gewährt aber den Vortheil, dafs dieses Zusammentreffen, womit man immer wechselt, sich über eine gröfsere Fläche verbreitet und sonach jede Unregelmäfsigkeit weniger nachtheilig wird. Hier wird vorzugsweise auch andres unbrauchbares Material mit eingepackt. Es mufs aber noch bemerkt werden, dafs entweder sämmtliche Faschinen in der ganzen Rücklage oder wenigstens diejenigen, welche die obere Schicht bilden, aufgebauen werden, damit man das Strauch um so besser ausbreiten und gehörig vertheilen kann.

Ist die Rücklage auf diese Art bis zum festliegenden Theil des Werks geführt, so wird sie wieder durch Würste und an den Rändern durch niedrige Flechtzäune verbunden. Man schlägt eine Reihe von Faschinenpfählen rings um die äufsern drei Seiten der Lage, und zwar im Abstande von ungefähr 1 Fufs von einander, und um diese werden Faschinenreiser in der Höhe von etwa 6 Zoll geflochten. Die nähere Beschreibung der Flechtzäune übergehe ich hier, da von denselben später ausführlicher die Rede sein soll. An denjenigen Seiten der Lage, welche eine dem Strom ausgesetzte Dossirung des Werks bilden, bringt man einen zweiten Flechtzaun im Abstande von etwa 2 Fufs vom ersten an, und der Zwischenraum zwischen beiden wird sorgfältig mit Ziegelstücken ausgepackt. In diesem Verfahren beruht der Schutz, den man der äufsern steilen Dossirung des Werks gegen den Angriff des Stroms giebt. Hierdurch rechtfertigt sich aber auch die Methode, die Stammenden der

Faschinen nach aufsen zu kehren, denn nur dadurch wird es möglich, die Zäune und die Steinpackung nahe an die äufsere Fläche des Werks zu bringen. Bei manchen Bauten, und namentlich bei Uferdeckungen, welche zugleich als Ladeplätze für Schiffe dienen, gewährt diese Anordnung den Vortheil, dafs man die Dossirung fast ganz umgehn und die Faschinenwand nahe senkrecht aufführen kann. Man darf indessen von dieser Constructionsart keine grofse Dauer erwarten, besonders wenn die Werke bis zur gewöhnlichen Uferhöhe heraufgeführt sind. Die Stammenden der Faschinen faulen bald, die Zäune verlieren ihre Haltung und die Steine stürzen herab. Eine fortdauernde und schwierige Reparatur ist daher hierbei unvermeidlich, und dazu kommt noch, dafs zahllose Ratten in dem Strauche nisten und für die anlegenden Schiffe höchst lästig und selbst gefährlich werden, namentlich zeigt sich dieses wenn Hafenwände auf solche Art dargestellt werden. Aber auch der unter Wasser befindliche Theil der Dossirung, der dem freien Strom zugekehrt ist, wird durch das gegenstofsende Eis stark angegriffen.

Der mittlere Theil der Lage wird endlich mit Würsten übernagelt. Dieselben sind, wie die Figur zeigt, ungefähr der Achse des Werks parallel gerichtet und divergiren an den Seiten so, dafs sie sich der Richtung der Zäune anschliefsen. Die Ueberdeckung geschieht hier mit Sand oder Kleierde, doch wendet man die letztere nicht leicht allein an, überschüttet sie vielmehr wo möglich mit grobem Kies. Man beginnt die Beschwerung am hintern Theil der Lage oder am festen Theil des Werks, und verwendet hierzu den daselbst aufgesetzten Kieshaufen, indem man später das Material nach der vordern Seite der Lage karrt.

§. 37.

Sicherung der Packwerke.

Die Packwerksbauten sind vielfachen Beschädigungen ausgesetzt und ihre Dauer pflegt sich auf einen kurzen Zeitraum zu beschränken, wenn man nicht Sicherungsmittel anwendet, wodurch sie dem Angriff des Stroms entzogen werden. Diese Sicherung be-

steht theils in einer äufsern Schutzdecke, theils aber auch in der besondern Verstärkung des Baues an denjenigen Stellen, wo die Beschädigungen sich am häufigsten zu wiederholen pflegen oder am nachtheiligsten sind.

Unter allen Beschädigungen, welche eintreten können, ist keine so gefährlich, als der Durchbruch der Buhne oder des Parallelwerks in der Wurzel oder im Anschlufs an das Ufer. Von dem übrigbleibenden, vom Ufer getrennten Bau ist alsdann eine vortheilhafte Wirkung nicht mehr zu erwarten, derselbe wirkt vielmehr so nachtheilig, dafs man sich beeilen mufs, ihn ganz zu beseitigen, wenn er sich nicht wieder an das Ufer anschliefsen läfst. Es ist schon die Rede davon gewesen, dafs diese Gefahr bei Parallelwerken und bei declinanten Buhnen, die sich weit herabziehn, besonders grofs ist, auch dafs man ihr bei Buhnen dadurch vorzubeugen pflegt, dafs man die Krone niedriger, als das Ufer hält, und nach dem Kopfe hin oder nach dem äufsern Theil des Werks abfallen läfst. Nichts desto weniger sind diese Vorsichtsmaafsregeln allein nicht genügend, und man mufs vielmehr auch für einen soliden Anschlufs des Werks an das Ufer sorgen.

Wo der Faschinenkörper das Ufer berührt, ist eine vollständige Verbindung beider nicht darzustellen. Das Wasser wird daher an dieser Stelle, wenn es nicht auf andre Weise daran verhindert ist, hindurchdringen, und wenn das Ufer wie gewöhnlich aus einem leichten, aufgeschwemmten Boden besteht, werden die feinern Thon- und Sandtheilchen schnell ausgespült. Indem die Strömung sich hierdurch verstärkt, so nimmt auch die Zerstörung in gleichem Maafse zu. Am gröfsten ist diese Gefahr bei solchen Werken, welche eine starke Anspannung des Wassers verursachen, oder wo die Niveau-Differenz zwischen dem Ober- und Unterwasser besonders grofs ist.

Das Mittel, wodurch man diesem Uebelstande begegnet, besteht darin, dafs man die Wurzel in das Ufer hineingreifen läfst. Für jede einzelne Stelle am Umfange der Wurzel wird dadurch zwar die Möglichkeit eines Durchbruchs nicht vermindert, da aber dieser Umfang selbst eine gröfsere Länge erhält, und sonach der Weg, den das Wasser verfolgen mufs, um das Werk zu umgehn, sich weiter ausdehnt, so vereinigen sich die geringen Widerstände zu einem so kräftigen Hinderniss, dafs die Gefahr endlich verschwin-

det. Man darf aber nicht besorgen, dafs unter dem Faschinenkörper ein bedeutender Durchfluſs eintritt, weil die Höhlungen, die sich hier bilden, bei der Biegsamkeit und starken Belastung des Werks wieder gesperrt werden. Hiernach ist es nicht nöthig, der Wurzel, welche in das Ufer eingreift, eine grofse Höhe oder Stärke zu geben, sie mufs aber vollständig belastet und durch gehörig angestampfte Erdschüttungen zu beiden Seiten möglichst fest an das Ufer angeschlossen sein. Die Gefahr eines Durchbruchs ist, wie bereits erwähnt, am gröfsten, wenn das Gefälle an der Buhne am stärksten ist, also bei demjenigen Wasserstande, wo die Krone so eben überströmt wird. Wenn die Krone und deren Fortsetzung oder die Wurzel höher, als das Ufer gehalten wird, so zieht sich bei einem solchen Wasserstande schon ein starker Strom über das niedrige Ufer fort, und indem derselbe den kürzesten Weg verfolgt, so ist er am hintern Ende der Wurzel am stärksten und führt augenscheinlich die bezeichnete Gefahr herbei. Andrerseits darf man aber zuweilen die Wurzel auch nicht zu tief unter der Höhe des Ufers halten. Dieses ist namentlich der Fall, wenn eine starke Beschränkung des Stromprofils bei höhern Wasserständen entweder zur Vermehrung der Strömung oder zur Regulirung des höhern Ufers nothwendig ist. Gemeinhin werden die Ufer der zu regulirenden Stromstrecken bepflanzt, wodurch die aufgelockerte Erde neben der Wurzel der Werke einen kräftigen Schutz erhält und sogar einige Verbindung mit dem Faschinenkörper erfolgt.

Da man den Bau der Buhnen, wie den der Parallelwerke immer am Ufer beginnt, so mufs mit dem in Rede stehenden Anschluſs oder mit der Wurzel der Anfang gemacht werden. Man gräbt in der Richtung der Buhne einen Einschnitt in das Ufer, so tief wie dieses bei dem gerade stattfindenden Wasserstande geschehn kann, man geht also gewöhnlich bis zu einem niedrigen Sommer-Wasserstande herab. Die Breite des Einschnitts mufs so grofs gewählt sein, dafs die Kronenbreite und die Seitenböschungen sich in der Wurzel noch übereinstimmend mit dem freiliegenden Theil des Werks darstellen lassen. Die Länge des Einschnitts ist nach dem Obigen von der Länge der Buhne abhängig, und jedenfalls mufs sie sich so weit erstrecken, dafs sie eine Uferstelle erreicht, die höher als die Krone der Buhne ist, damit keine vertiefte Rinne zwischen dem Ufer und der Wurzel entsteht. Der Einschnitt

pflegt hiernach wenigstens 1½ oder 2 Ruthen lang zu werden, erhält aber bei gröfsern Strömen und flachen Ufern die Länge von 5 bis 10 Ruthen.

Man beginnt das Auswerfen der Faschinen, nachdem der Einschnitt ausgehoben ist, am hintern Ende desselben in ähnlicher Weise, als wenn man eine Ausschufslage bilden wollte, bei einer geringen Breite des Einschnitts müssen jedoch alle Faschinen, die in denselben treffen, parallel zur Richtung des Werks gelegt werden. Die Stammenden sind dabei immer nach dem höhern Ufer gekehrt und man läfst die einzelnen Reihen weit über einander greifen, um bei der geringen Anzahl dieser Reihen eine möglichst gute Verbindung und Abwechslung der Stöfse hervorzubringen. Hat man auf solche Art das äufsere Ende des Einschnitts erreicht, so mufs nach Maafsgabe der gröfsern Tiefe sogleich eine Verbreitung der Ausschufslage erfolgen, und der hier beginnende Theil des Baues ist überhaupt nach den bereits entwickelten Regeln auszuführen. Senkt sich das Bette sehr steil, so mufs man sogleich den freien Theil des Ausschusses als Pülv-Lage zusammensetzen, um schon der ersten schwimmenden Schicht die beabsichtigte Neigung zu geben. Gemeinhin ist die Strömung neben dem Ufer am schwächsten, es ist also viel leichter, den Bau hier regelmäfsig einzuleiten, als wenn man sich anfangs noch Abweichungen erlauben wollte, die später unter schwierigeren Umständen wieder ausgeglichen werden müfsten. Ist der Ausschufs fertig, so wird die Rücklage wieder eben so, wie früher beschrieben, gemacht. Sobald man aber in den Ufer-Einschnitt zurückgekommen ist, werden die Faschinen wieder parallel gelegt. Die Rücklage wird noch bis ans Ende des Einschnitts fortgesetzt und man giebt ihr eine solche Höhe, die dem Längengefälle der Krone entspricht, sorgt aber dafür, dafs die folgende Lage wenigstens noch zum Theil in den Einschnitt hineinreicht, um auch diese fest an das Ufer anschliefsen zu können. Die Würste werden auf den schwimmenden Theil der ersten Lage in derselben Art, wie bei den folgenden aufgenagelt und reichen sämmtlich in den Einschnitt hinein. Wollte man sie hier aber in der gewöhnlichen Art verlegen, so würden sie mit den Faschinen parallel gerichtet sein und zur Verbindung derselben nichts beitragen. Man mufs sie also wenigstens etwas schräge halten. Eine Ueberkreuzung der Würste darf nicht stattfinden, weil dadurch freie

Räume gebildet werden. Hiernach ist es am passendsten, die Würste so zu verlegen, wie Fig. 139. zeigt. Ueber das Annageln der Würste und die Aufbringung des Beschwerungs-Materials ist nichts zu erinnern, da dieses in gleicher Weise wie bei den folgenden schwimmenden Lagen geschieht.

Wenn die Krone der Wurzel nur niedrig liegt, so ist es schwierig, noch eine zweite Lage in den Einschnitt hineinzuziehn, doch jedenfalls mufs dieselbe wenigstens in den vordern Theil eingreifen, um eine gehörige Verbindung mit dem Ufer darzustellen. Dieses ist um so nothwendiger, als nicht nur die Faschinen, die im Einschnitt selbst liegen, sondern auch die daraus hervortretenden sich über dem kleinen Wasser befinden und daher leicht verrotten. Die Erstern sind sogar noch mehr gegen Fäulnifs geschützt, da sie bei sehr niedrigem Wasserstande durch die umgebende Erdschüttung, welche das Ufer ergänzt, am schnellen Austrocknen verhindert werden.

Sollte, wie dieses zuweilen der Fall ist, die Wassertiefe unmittelbar vor dem Ufer sehr grofs sein, so ist es allerdings schwierig, die ersten Lagen so zu construiren, dafs sie die beabsichtigte flache Neigung nach dem Versenken annehmen. Dieses läfst sich aber mit Anwendung der Pülvlagen oder durch gehörige Verlängerung der Ausschufslage, und namentlich wenn man von dem Schwimmbaume Gebrauch macht, immer erreichen. Man überwindet diese Schwierigkeit zuweilen auch dadurch, dafs man vor dem Beginn des Packwerksbaues vor dem Ufer, und zwar parallel zu demselben, Senkfaschinen herabläfst und dadurch künstlich eine flachere Dossirung bildet.

Man wendet zuweilen auch ein andres Mittel an, um die ersten Lagen flach in das Wasser herabzubringen, man verbindet sie nämlich nur sehr schwach mit der Faschinen-Packung in dem Einschnitt, und drückt sie nicht nur an ihrem vordern, sondern auch am hintern Ende so stark durch die Belastung der folgenden Lagen herab, dafs sie beim Versinken längs der steilen Ufer-Dossirung herabgleiten, indem die Würste zerreifsen und selbst grofse Erdmassen mit herabgezogen werden. Hierdurch gelingt es freilich, wie dieses auch Absicht ist, die ersten Lagen recht flach zu versenken. Dabei wird aber kein wesentlicher Vortheil erreicht, denn wenn man auf solche Weise künstlich in einiger Entfernung vom Ufer eine steile Stufe bildet, so tritt bei der Ueberdeckung der-

selben wieder die frühere Schwierigkeit ein, und sie ist hier um so gröfser, insofern der erste Theil des Werks schon das Profil des Stroms beschränkt und die Strömung vor seinem Kopfe verstärkt. Ein andrer Uebelstand dieses Verfahrens besteht darin, dafs die Regelmäfsigkeit des Baues unterbrochen wird. Man kann nicht mehr die ganze Zusammensetzung des Werks bestimmt vorhersehn, und die Anordnungen darnach sicher treffen, vielmehr mufs man es dem Zufall überlassen, wie sich Alles gestaltet. Endlich aber darf man in diesem Fall auch nicht voraussetzen, dafs der abgerifsne Ausschufs der ersten Lage, wenn er flach zu Boden sinkt, sich scharf an das Ufer anschliefsen wird. Wenn hier aber, wie wahrscheinlich, ein schmaler Raum offen bleibt, durch welchen das Wasser sich hindurchzieht, so entsteht die Frage, wie derselbe geschlossen werden kann? Die folgenden Lagen sind freilich biegsam und schliefsen sich der Form der Oberfläche an, auf welcher sie ruhn, aber einzelne tiefe Spalten, die daselbst vorkommen, können sie nicht füllen. Es ist wohl anzunehmen, dafs der Durchbruch mancher Buhne und ihre Trennung vom Ufer allein durch dieses Verfahren veranlafst wurde. Zeigt sich dabei ein merkliches Durchquellen, so kann man dieses freilich durch starkes Nachrammen zunächst beseitigen, doch wird eben dadurch die Verbindung der Faschinen unter sich aufgehoben, und Beschädigungen sind alsdann eher zu erwarten, als wenn die Lagen sorgsam und ohne Verletzung versenkt wären. Gemeinhin darf man aber, wenn das Durchquellen aufhört, nicht einmal hoffen, dafs der Spalt wirklich durch eingetriebnes Strauch gestopft sei, vielmehr geschieht dieses gewöhnlich nur durch das herabfallende Beschwerungs-Material, und dieses liegt nur da sicher, wo es vom Strauch umschlossen und durch starken Druck festgehalten wird. Beides findet in einem solchen Spalt nicht statt. Wenn daher nicht schnelle Verlandung hier erfolgt, so ist zu besorgen, dafs der Durchflufs sich wieder öffnet und stark erweitert, sobald bei höherm Wasserstande ein vermehrter Druck eintritt. Aus diesen Gründen ist ein solches Verfahren höchst bedenklich.

Demnächst ist der Kopf der Buhne einem besonders starken Angriff durch den Strom ausgesetzt und die Gefahr seiner Zerstörung vermehrt sich noch dadurch, dafs davor eine Vertiefung sich zu bilden pflegt, in welche er nach und nach herabsinkt.

Es ist schon erwähnt, dafs das Packwerk nur in dem Falle hinreichende Solidität und Festigkeit hat, wenn das Beschwerungs-Material zwischen dem Strauch fest eingeschlossen ist, und umgekehrt das Strauch wieder durch das Beschwerungs-Material gedeckt und dem Angriff des Stroms entzogen wird. Eine solche gegenseitige Ueberdeckung kann nur im Innern des Werks stattfinden, an allen äufsern Flächen mufs dagegen Eins von beiden, entweder das Strauch oder das Beschwerungs-Material, dem Angriff des Stroms blosgestellt bleiben, und dieses kann nur das Letztere sein, das also die obere Decke bildet. Besteht dieses aber aus feinem Sande oder gar aus Thon, so wird es bald fortgespült und die Faschinenlage bleibt ohne Schutz.

Hierzu kommt noch, dafs nicht nur der Angriff des Stroms und Eises die äufsere Decke der Packwerke zerstört, sondern dieses oft in viel gröfserm Maafse durch den Wellenschlag geschieht. Das Wasser wird durch denselben wiederholentlich in die freien Räume zwischen dem Strauch hineingetrieben, und indem es unmittelbar darauf wieder herausfliefst, so reifst es die feinen Erdtheilchen oder Sandkörnchen mit sich. Man bemerkt häufig sehr auffallend die starke Trübung des Wassers neben den Buhnen, und diese rührt von dem ausgewaschenen Beschwerungs-Material her, durch dessen Entfernung die Werke ihre Consistenz verlieren. Der durch Stürme verursachte Wellenschlag ist am stärksten, wenn eine ausgedehnte Wasserfläche von grofser Tiefe davor steht. Beim gewöhnlichen Wasserstande, der die Kronen der Buhnen nicht übersteigt, ist der Stromschlauch gemeinhin weder breit, noch tief genug, um einen sehr verderblichen Wellenschlag zu erzeugen. Ein solcher entsteht aber selbst bei kleinem Wasser noch aus einer andern Ursache, nämlich aus der Bewegung des Wassers durch die vorüberfahrenden Dampfschiffe. Wenn der gewöhnliche Packwerksbau mit ausschliefslicher Benutzung eines feinern Senkmaterials bei vielfachen Reparaturen und Ergänzungen der Werke in manchen Fällen noch zulässig erscheint, so ist dieses nicht mehr der Fall, sobald eine frequente Dampfschiffahrt ins Leben tritt. Alsdann bleibt zur Sicherung der Buhnen und aller Packwerke nichts andres übrig, als sie entweder in ihrer ganzen Oberfläche oder wenigstens in den Theilen, die besonders von den Wellen getroffen werden, also vorzugsweise in den Köpfen, mit gröfsern Steinen zu überdecken.

Ueber die Ausführung solcher Steinschüttungen ist bei Gelegenheit der Stein-Constructionen (§. 31.) bereits die Rede gewesen, hier wäre nur zu erinnern, dafs man bei deren Anwendung auf die Kopfdossirungen das Herabrollen der Steine beim Versenken der Lage möglichst verhindern mufs. Zu diesem Zweck ist es nützlich, zwischen die Würste einige Flechtzäune zu stellen, die mehr Festigkeit haben und haltbarer sind, als jene. Man kann auch eine mäfsige Sanddecke zuerst auf die letzte Lage bringen. Dieselbe wird durch die darüber geworfnen Steine geschützt, grossentheils aber versinkt sie in die Zwischenräume des Strauches. Man erlangt dadurch den Vortheil, dafs man zu der erforderlichen Beschwerung nicht allein kostbare Steine zu verwenden braucht. Die Steindecke mufs aber immer wenigstens 1 Fufs und bei heftiger Strömung und grofser Tiefe $1\frac{1}{2}$ bis 2 Fufs stark sein. Diese Stärke wäre nicht erforderlich, wenn man die Steine regelmäfsig verpacken könnte, was nicht möglich ist, weil ein kleiner Theil derselben schon genügt, um die Lage zu versenken, und der Rest nachgestürzt werden mufs, woher die gleichmäfsige Verbreitung der Steine sehr zweifelhaft ist. Man mufs mit der Peilstange fleifsig die Böschung untersuchen und alle bemerkten Unregelmäfsigkeiten beseitigen, besonders aber darauf achten, dafs an keiner Stelle die Steindecke ganz fehlt. Eine vollständige Ausgleichung ist dabei indessen nie zu erreichen und besonders ist zu besorgen, dafs ein Theil der Steine von der Dossirung herabrollt und im sandigen Strombett versinkt. Um das Letzte zu vermeiden, dürfte es passend sein, die Steine mehr auf den obern als den untern Theil der Dossirung zu werfen, weil sie alsdann bei eintretender Bewegung vielleicht noch auf diesem liegen bleiben. Aus demselben Grunde rechtfertigt es sich auch, wenn man die stromaufwärts gekehrte Seite der letzten Lage etwas stärker beschüttet, als die stromabwärts gekehrte.

Das Beschweren der letzten Lage mit Steinen ist nicht überall üblich, vielmehr werden viele Buhnen mit ausschliefslicher Benutzung eines leichten Senkmaterials erbaut. Man sucht sich in diesem Falle dadurch zu helfen, dafs diejenige Lage, welche mit ihrem Fufs am weitesten in das Strombett hineintritt, nicht die letzte bleibt, sondern noch durch andre kürzere Lagen in ihrem obern Theil überdeckt wird, wie Fig. 140. im Profil zeigt. Man erreicht dabei

indessen keinen wesentlichen Vortheil, vielmehr bleiben die angegebnen Uebelstände für jeden einzelnen Theil der Dossirung dieselben und die Verhältnisse ändern sich nur in sofern, als der Angriff und die Zerstörung etwas ungleichmäfsiger und vielleicht etwas langsamer erfolgt. In den Niederlanden ist ein ähnliches Verfahren gleichfalls üblich, man beobachtet jedoch daselbst die Vorsicht, dafs man jeden Theil der Lage, der nicht überdeckt wird, mit mehreren Flechtzäunen überzieht und die Zwischenräume sorgfältig mit Ziegelbrocken auspackt. Ein grofser Nachtheil dieser zurückgezognen Lagen besteht darin, dafs die Böschung vor dem Kopfe steiler, und dadurch die Strömung davor verstärkt wird. Die Tiefe daneben nimmt sonach in gröfserm Maasse zu, und indem der Fufs der Böschung versinkt, so verschwindet diese oft ganz, so dafs das Werk am Kopfe fast senkrecht aus dem Flufsbette ansteigt. Sobald die Böschung aber sehr steil geworden ist, stürzt das Beschwerungs-Material herab und wird fortgespült oder versinkt, und das Strauch, jedes Schutzes beraubt, löst sich gleichfalls und treibt namentlich beim Eisgange in grofsen Massen fort.

Sehr sicher werden die Buhnenköpfe sowol gegen den unmittelbaren Angriff des Stroms und Eises, wie auch gegen starke Vertiefungen des Bettes geschützt, wenn man sie mit Steindecken versieht, die sich in der Richtung der Buhnen mit flachen Böschungen bis zur Sohle des Flufsbettes fortsetzen. Ueber Wasser sind solche abgepflastert, unter Wasser können sie dagegen nur aus Steinschüttungen bestehn. Damit letztere aber im Sande nicht versinken, so pflegt man schon vor Erbauung des äufsern Theils der Buhne eine Senklage zu bilden, auf welcher sowol der aus Packwerk dargestellte Kopf, wie auch die erwähnte Steinschüttung in ihrer ganzen Ausdehnung ruht.

Statt der Senklage kann man auch eine Schicht Senkfaschinen verwenden, die in der §. 32. beschriebnen Weise verlegt werden. An manchen Strömen ist es dagegen üblich, sowol den Kopf der Buhne, wie auch die Sohle des Bettes vor demselben durch Senkstücke zu sichern. Dieses geschieht in neurer Zeit an der Weichsel und der Oder. Am Rhein sollte diese Bauart vor etwa zehn Jahren gleichfalls versucht werden, obwohl man aber sowol Kribbmeister, wie Arbeiter, die hierin geübt waren, aus den östlichen Provinzen herbeigezogen hatte, so war die starke Strömung

dennoch so hinderlich, und erforderte so ungewöhnliche Vorsichts-Maassregeln beim Transport und beim Versenken der Stücke, dafs wegen der grofsen Kosten von dieser Bauart sogleich Abstand genommen werden mufste.

Um die Benutzung der Senkstücke zur Sicherung der Buhnenköpfe zu beschreiben, ist es nöthig, die Zusammensetzung derselben, deren Detail bei Gelegenheit des Hafenbaues mitgetheilt werden wird, in kurzen Umrissen schon hier anzudeuten. Sie bestehn in grofsen rechteckigen Parallelopipeden von 3 bis 6 Fufs Höhe und sind mehrere Ruthen lang und breit. Auf eine Rüstung am Ufer werden in 3 bis 4 Fufs Abstand Würste gelegt, und kreuzweise darüber in gleichen Abständen andre Würste, die in den Kreuzpunkten mit Leinen an die ersten gebunden werden. In solcher Art bildet sich der rostförmige Boden des Stücks, der mit Faschinen-Lagen abwechselnd in einer und der andern Richtung überdeckt wird. Ein grofser Theil jener Leinen mufs aber an Stäbe befestigt werden, damit ihre Enden bis über die Faschinenpackung herauf reichen. Hat die Packung die beabsichtigte Höhe erreicht, die bei verschiedner Tiefe des Grundbettes im Flufsbett auch verschieden sein kann, so wird wieder ein Rost von Würsten, der dem untern gleich ist, darauf gelegt, und dieselben Leinen werden um die Kreuzungen, auf welche sie treffen, geschlungen und fest angebunden, wodurch die Verbindung des obern Rostes mit dem untern dargestellt und auf solche Art dem ganzen Stück der nöthige Zusammenhang gegeben wird. Der obere Rost verhindert schon das Herabfallen des beim Versenken aufzuwerfenden Sandes oder Kieses, will man dieses aber noch sichrer verhindern, so umgiebt man das ganze Stück mit niedrigen Flechtzäunen, und zieht auch wohl einige solche in der einen und andern Richtung, jedoch immer auf den Würsten, darüber.

Das in dieser Weise fertig gestellte Senkstück wird alsdann, wie ein Schiff, von der Rüstung herabgelassen. Man läfst es vom Strom bis nahe an die Stelle treiben, wo es versenkt werden soll, oder bugsirt oder warpt es dahin, hält es aber hier an starken Tauen auf, die an Ankern befestigt sind. Von grofser Wichtigkeit ist es nun, diese Taue soweit nachzulassen und festzuhalten, dafs das Stück genau an diejenige Stelle und in derjenigen Richtung schwimmt, die es auf dem Grunde haben soll, auch ist zu verhin-

dern, dafs es beim Versinken, indem Sand und Kies oder Steine aufgeworfen werden, nicht merklich stromabwärts treibt. Bei geringer Wassertiefe und mäfsiger Strömung ist dieses nicht schwer, bei starkem Strom wird aber das Stück wegen der grofsen Angriffsfläche so kräftig gefafst, dafs die äufsersten Mittel angewendet werden müssen, um ihm die richtige Lage zu geben und es darin zu erhalten. Dieses ist der Grund, weshalb der am Rhein gemachte Versuch so ungünstig ausfiel. Es mufs noch darauf aufmerksam gemacht werden, dafs das Senkstück durch das Anziehn der hindurchgreifenden Leinen nicht entfernt so stark comprimirt werden kann, wie durch die spätere Beschwerung mit Senkmaterial. Man giebt ihm daher beim Packen eine Höhe, welche um die Hälfte gröfser ist, als diejenige, die es im fertigen Bau haben soll. Doch hängt dieses wieder von der Beschaffenheit der Faschinen und des Senkmaterials ab.

Die Verwendung der Senkstücke an der Weichsel und der Oder ist keineswegs dieselbe, auch zeigen die Formen der Buhnen an diesen beiden Strömen sowol unter sich, als gegen die vorhin beschriebnen, die in den westlichen Provinzen des Preufsischen Staats üblich sind, so auffallende Verschiedenheiten, dafs eine nähere Beschreibung dieser beiden Constructions-Arten nöthig erscheint.

Fig. 96. auf Taf. XII. zeigt einen Buhnenkopf, wie solche an der Weichsel und vorzugsweise im Marienwerder Regierungsbezirk gegenwärtig ausgeführt werden. Es wird dabei von der Ansicht ausgegangen, dafs die ganze Buhne, so wie auch der Kopf derselben mehr auf der stromaufwärts, als auf der abwärtsgekehrten Seite gesichert werden mufs. Man hält also den unmittelbaren Angriff für gefährlicher, als das überstürzende Wasser, und nimmt an, dafs die Auskolkung des Bettes vor dem Kopfe oberhalb der Mittellinie der Buhne gröfser ist, als unterhalb.

Die Buhne, wie der Kopf derselben besteht aus Packwerk, ihre Krone ist 11 Fufs breit, hat stromaufwärts 1½füfsige, stromabwärts aber nur einfüfsige Dossirung. Die erste Dossirung wird durch ein Pflaster zwischen zwei Reihen kleiner Pfähle gesichert, soweit dieses nöthig erscheint. Der Kopf erhält über dem niedrigsten Wasser in der Längenrichtung der Buhne eine 5füfsige, und in der stromaufwärts gekehrten Seite eine 3füfsige Dossirung. Er

wird, wie Fig. 69. *a* und *b* zeigt, durch drei Senkstücke von 3 Ruthen Länge und 2 bis 2½ Ruthen Breite gesichert, die unter seine Dossirungen greifen. Eine ziemlich dichte Pfahlreihe von 5 Fuſs langen und 5 Zoll starken Pfählchen umgiebt ihn rings umher, und dient zum Schutz des darin ausgeführten Steinpflasters. Damit aber etwanige Beschädigungen in diesem sich nicht zu weit ausdehnen, sind noch zwei solche Pfahlreihen, wie die Figuren zeigen, angebracht, die in der obern Kante der stromabwärts gekehrten Dossirung zusammenstoſsen. Zur Sicherung der umschlieſsenden Pfahlwände sind neben denselben, so weit sie frei liegen, noch auf das vortretende Packwerk Würste gelegt und mit gewöhnlichen Spiekpfählen festgenagelt. Die drei Figuren 96. *c*, *d* und *e* zeigen die Querschnitte des Kopfs an den im Grundriss mit *AB*, *CD* und *EF* bezeichneten Stellen. Die punktirten Linien deuten aber den Fuſs der Dossirungen des Packwerks an.

Fig. 97. *a* und *b* zeigt im Grundriſs und im Längendurchschnitt den Kopf einer Buhne, wie solche in neuster Zeit an der Oder im Frankfurter Regierungsbezirk ausgeführt werden. Sie zeichnen sich vor allen sonst bekannten Buhnen dadurch aus, daſs die vor den Kopf vortretende Schwelle mit 20füſsiger Böschung auf das Fluſsbett abfällt. Die Krone der Buhne ist 8 Fuſs breit, die beiderseitigen Dossirungen sind einfüſsig, und der ganze Bau ist symmetrisch angeordnet, so daſs die stromaufwärts gekehrte Seite in gleichem Maaſse, wie die stromabwärts gekehrte gesichert ist. Auf 10 Ruthen Länge, vom Kopfe ab gemessen, wird die Krone mit Kalkstein-Gerölle überschüttet. Der Kopf verbreitet sich, wie der Grundriſs zeigt, und fällt nach allen Seiten mit 4füſsiger Böschung auf das Senkstück ab, welches in seiner obern Fläche nur wenig unter dem niedrigsten Wasser liegt. Zwei kreisförmig herumgeführte Flechtzäune, so wie auch zwei radiale umschlieſsen das Pflaster der Böschungen. Sowol der Kopf, wie auch der nächste Theil der aus Packwerk bestehenden Buhne ruhen auf Senkstücken von 3 Fuſs Höhe, deren Dimensionen sich aus den Zeichnungen ergeben und von denen unter dem Kopfe zwei übereinander liegen, sobald die Tiefe dieses erfordert. Die Senkstücke setzen sich aber in der Längenrichtung der Buhne stromwärts noch so weit fort, wie die angegebne flache Böschung dieses fordert. Um den Steinbewurf der Schwelle möglichst zu vermindern, ist die scharfe Kante am

jedesmaligen Ende einer Senkstücklage durch Senkfaschinen ausgeglichen, die grofsentheils schräge gegen die Richtung der Buhne liegen, von denen aber eine, soweit das Querprofil der Schwelle es erlaubt, noch daneben gelegt wird. Die abfallende Krone der Schwelle ist wieder 8 Fufs breit, und letztere wird auf den Senkfaschinen oder Senkstücken oder unmittelbar auf dem Flufsbette durch Steinschüttung dargestellt. Die punktirte Linie bezeichnet den Fufs dieser Schüttung.

Man hat an der Oder zu den überaus flachen Böschungen sich entschlossen, weil man bemerkte, dafs an denjenigen Stellen, wo das Flufsbette am regelmäfsigsten sich ausgebildet hatte, darin kein scharf markirter enger Schlauch besteht, vielmehr die Tiefe in sanften Uebergängen nach der Mittellinie zunahm, das Querprofil also eine symmetrische flach gekrümmte Linie bildete. Mehrfach meint man, diese Linie sei parabolisch, im vorliegenden Falle läfst sie sich eben so gut als Kreislinie ansehn. Die Köpfe der sich gegenüber stehenden Buhnen sind 50 Ruthen von einander entfernt, dagegen die Schwellen in der Tiefe von 10 Fufs unter jenen Köpfen 35 Ruthen. Zieht man durch diese gegebenen Punkte eine Kreislinie, so liegt der Scheitel 9,55 Fufs unter den angegebnen Punkten in den Schwellen, der Scheitel der Parabel würde aber 9,61 Fufs unter den Horizont derselben Punkte fallen. Die Differenz beträgt also nur 8½ Linien, während das Bette in Wirklichkeit sich gewifs niemals auch nur entfernt diesen Curven nähert, vielmehr wohl immer von den Scheitelpunkten des Kreises und der Parabel sich weiter entfernen dürfte.

Es mufs noch erwähnt werden, dafs die beiden letzten Constructionen und Anordnungen eben so wie auch die vorher beschriebnen sich als sehr dauerhaft und für die Ausbildung des Fahrwassers als sehr wirksam bisher erwiesen haben.

Vorstehende Mittheilungen beziehn sich auf die Sicherung der Köpfe der Buhnen. Für die Seiten-Dossirungen sind die Verhältnisse indessen weniger ungünstig, indem der Angriff des Stroms schwächer ist, und überdies die eintretende Verlandung bald Schutz gewährt. In der Nähe des Kopfes verschwinden indessen auch an den Seiten diese Vortheile, man mufs daher die Steinschüttung daselbst gleichfalls anbringen, wenn man Beschädigungen vermeiden will.

Die Kronen der Packwerke sind wieder starken Beschädigungen ausgesetzt, und man pflegt daher, wenn man auch den Schutz der Dossirungen verabsäumt, hier feste Decken anzubringen. Der Angriff des überstürzenden Wassers und Eises wirkt zerstörend auf sie ein, aufserdem wird vorzugsweise die Krone noch dadurch angegriffen, dafs die abwechselnde Nässe und Austrocknung bald das Verfaulen des Strauches zur Folge hat. Um dieses zu vermeiden, ist es am passendsten, eine gehörig starke abgepflasterte Steindecke aufzubringen, welche einerseits an sich weder durch Ueberfluthung, noch durch Austrocknung leidet, aufserdem aber die Feuchtigkeit unter sich etwas länger zurückhält, so dafs dadurch die Strauchlagen bei kleinem Wasser nicht so schnell trocken werden. Man erreicht dabei noch den Vortheil, dafs man an keine bestimmte Kronenhöhe gebunden ist, diese vielmehr so hoch oder niedrig gewählt werden kann, wie die Local-Verhältnisse es fordern, was für die Strom-Regulirung besonders wichtig ist.

Wenn man eine Steindecke auf Packwerk legt, so tritt dabei der Uebelstand ein, dafs der Fufs des Pflasters, der sich gegen die Dossirung lehnt, nicht gehörig gesichert werden kann, wenn nicht eine Steinschüttung von wenigstens 1½facher Anlage bis zum Strombett herabreicht. Da hierdurch die Kosten sehr vermehrt werden, die Steindossirung aber auch entbehrlich wird, sobald die Buhne verlandet ist, so wählt man lieber andre wohlfeilere Methoden, die freilich weniger dauerhaft sind. Häufig läfst man eine schwache Steindecke nur bis zum kleinsten Wasser herabreichen und lehnt sie gegen einen niedrigen Flechtzaun, in vielen Fällen begnügt man sich auch, grofse flache Steine auf die Krone zu packen und rings umher, so wie in einigen Querlinien Flechtzäune zu ziehn. Obgleich diese Anordnung vielfachen Beschädigungen ausgesetzt ist, so trägt sie doch schon wesentlich zur Erhaltung des Werkes bei, und bei vorkommenden Reparaturen darf man die Steindecke keineswegs jedesmal erneuen, sondern man hebt die einzelnen Steine ab, erhöht und regulirt die Krone, soweit es nöthig ist, und legt jene alsdann wieder auf. Wenn aufserdem noch der Kopf des Werks gehörig flach gehalten und mit Steinen bedeckt ist, so darf man einen solchen Bau unter gewöhnlichen Umständen als gehörig gesichert ansehn, und es fehlt nicht an Beispielen, dafs selbst starke Eisgänge darauf keinen nachtheiligen Einfluſs ausüben und Anlagen

dieser Art sich ohne Beschädigung eine lange Reihe von Jahren hindurch erhalten.

An der Elbe im Magdeburger Regierungsbezirk lehnt man das Pflaster in der Höhe des niedrigsten Wassers an eine Reihe von Pfählchen, die nur 6 Zoll von einander entfernt, 3 bis 4 Zoll stark und etwa 3½ Fuſs lang sind. Umflochten werden sie nur, wenn sie theilweise nicht gehörig fest stehn. Da sie aber immer feucht bleiben, so sind sie von langer Dauer. Man pflegt hier in neurer Zeit den Kopf und den anschlieſsenden Theil der Buhne in der Länge von 3 bis 5 Ruthen zu pflastern, nämlich so weit, als derselbe voraussichtlich dauernd dem Angriff des Stroms ausgesetzt bleibt. Früher war es üblich, die stromaufwärts gekehrte Dossirung und zugleich die Krone in der vollen oder halben Breite auf die ganze Länge der Buhne zu pflastern, da jedoch die Decke entbehrlich wird, sobald Verlandungen daneben auftreten, so unterläſst man dieses jetzt auf den hintern Theilen der Werke. Soweit aber auf ältern Buhnen Pflastersteine liegen, werden sie nach erfolgter Verlandung anderweit verwendet. Es mag noch bemerkt werden, daſs man vorzugsweise das Pflaster auf dem Kopfe zu sichern bemüht ist, und deshalb eine 1 Fuſs starke Steinschüttung darunter bringt. Die nicht abgepflasterten Theile der Krone und der Dossirungen werden mit grünen Weiden bespreitet, und wenn vier- oder fünfjähriges Weidenstrauch zur Hand ist, so benutzt man dasselbe auch zu den oben erwähnten Pfählen, die alsdann Wurzeln schlagen und dadurch zur Verstärkung des Werkes noch beitragen.

Die Beschüttung der Krone mit kleinen Steinen oder Ziegelbrocken ist weniger dauerhaft, als das Pflaster, wenn man solche auch mit Flechtzäunen durchzieht. Wenigstens sollte man, wie in den Niederlanden üblich, sie mit einigen Reihen gröſserer Steine umschlieſsen. Doch auch in diesem Falle dürfte die Deckung nur als genügend anzusehn sein, wenn die Strömung nicht stark ist, und die Werke so niedrig liegen, daſs sie bei Fluthen hoch überströmt und vom Eisgange nicht berührt werden.

Häufig giebt man der Steindecke und selbst dem Pflaster dadurch gröſsere Haltbarkeit, daſs man in die Fugen Weidenstecklinge setzt, indem mit einer zugespitzten Eisenstange Löcher in der erforderlichen Tiefe eingestoſsen werden. Für die Sicherung des Baues

ist dieses ohne Zweifel vortheilhaft, denn einestheils erhält das Packwerk einen innigeren Zusammenhang, wenn es von den Wurzeln des Strauches durchzogen wird, anderntheils aber lehnen sich auch die Steine gegen die lebendigen Stämme in ähnlicher Weise, wie gegen Flechtzäune, und zwar ist dieser Schutz nachhaltiger, indem kein Verrotten eintritt, vielmehr die neuen Triebe aus der Wurzel mit der Zeit um so mehr Stützpunkte bieten. Dazu kommt noch, dafs das Gebüsch die Strömung über dem Werke mäfsigt und das unmittelbare Gegenstofsen des Eises verhindert, woher selbst kleine Steine alsdann nicht fortgetrieben werden.

Wie grofs indessen diese Vortheile auch sind, so giebt es doch andre wichtige Gründe, welche gegen eine solche Maafsregel sprechen. Für's Erste kann man die Bepflanzung nur in einer bestimmten Höhe anbringen, die gemeinhin zwischen sehr engen Grenzen liegt, indem die bepflanzte Fläche weder lange Zeit hindurch überfluthet werden, noch auch so hoch liegen darf, dafs sie bei kleinem Wasserstande stark austrocknet. Man mufs also, wenn man die Krone mit einer Pflanzung bedecken will, unbedingt diese Höhe wählen. Dadurch kommt häufig der Kopf, wie die Wurzel der Buhne in eine, dem Zweck der Regulirung widersprechende Höhe. Nichts desto weniger bleiben diese Pflanzungen, mehr als die am Ufer befindlichen, der Zerstörung ausgesetzt, und namentlich geschieht es bei anhaltendem kleinen Wasser nicht selten, dafs sie verdorren und absterben, weil der Körper der Buhne bei seiner geringen Breite und seiner lockern Zusammensetzung mehr als das eben so hohe Ufer austrocknet. Der gröfste Uebelstand besteht aber in den Unregelmäfsigkeiten, die ein solches Bepflanzen der Buhnen veranlafst. Die Höhe und Neigung der Krone hängt nämlich von lokalen Verhältnissen ab, und es ist durchaus unstatthaft, diese Höhe noch durch die Pflanzung zu vergröfsern und dadurch eine widernatürliche Beschränkung des Profils darzustellen. In der Wirklichkeit gelingt dieses auch nicht, denn das Hochwasser stellt die erforderliche Profilweite wieder her, und zerstört die Pflanzung oder greift die Buhne selbst an, wodurch die Sicherheit und Regelmäfsigkeit der Anlage verschwindet. Die Pflanzung an sich, besonders wenn sie häufig abgetrieben wird, würde weniger nachtheilig sein, indem die Zwischenräume zwischen den einzelnen Reisern besonders nach dem Abfallen der Blätter noch hinreichend

grofs sind, um bedeutende Wassermassen hindurchströmen zu lassen, aber sie mäfsigt die Geschwindigkeit so sehr, dafs das vom Strom mitgeführte Material hier niederschlägt, und vorzugsweise geschieht dieses in der Nähe der stärksten Strömung, also an den Köpfen der Buhnen. Solche Ablagerung von Kies oder Sand ist für den Weidenwuchs besonders günstig, das Strauch treibt alsdann eine Menge neuer Schöfslinge, die wieder zu einer um so stärkern Verlandung Veranlassung geben, und so hebt sich der Kopf der Buhne immer mehr und dehnt sich zugleich seitwärts aus, so dafs er bald einen stromabwärts gekehrten Haken in Form einer Flügelbuhne bildet, der sich gleichfalls mit Strauch bedeckt, und eine auffallende Spaltung des Stroms zur Zeit des Hochwassers verursacht. Je mehr der Buhnenkopf das Profil beschränkt, um so heftiger ergiefst sich das Wasser über den hintern Theil der Buhne. Hier gedeiht die Pflanzung weniger gut und die Verlandungen sind viel unbedeutender. Der darübergehende Strom findet daher weniger Hindernisse und räumt seine Bahn, so oft Hochwasser eintritt, immer von Neuem auf. Der Zweck der Stromregulirung, nämlich die Bildung regelmäfsiger Ufer und die Zurückweisung des Fluthstroms in die tiefe Stromrinne, wird hiernach durch die Wirkung der Pflanzung auf den Buhnen vereitelt. Es geschieht aber auch häufig, dafs unter solchen Umständen die Buhnen durchbrochen und deren hohe Köpfe vom Ufer getrennt werden.

Diese Uebelstände zeigen sich noch auffallender, wenn man die Krone gar nicht durch eine Steindecke sichert, sondern sie ausschliefslich durch Weidenpflanzung zu schützen versucht. In vielen Fällen sind die Steine allerdings so kostbar, dafs man gezwungen ist, die Buhnen wenigstens Anfangs ohne feste Decke zu erbauen. Die Bepflanzung der Krone darf alsdann nicht fehlen, weil ohne solche die Werke keine Haltbarkeit haben würden, man darf aber nicht hoffen, dafs die bepflanzten Buhnen eine Reihe von Jahren hindurch ohne Reparatur bestehn, und ohne weitere Nachhülfe die beabsichtigten Wirkungen hervorbringen. Besonders mufs man auf die Höhe des Gebüsches fortwährend sehr aufmerksam bleiben, und die Aussicht auf Gewinn von brauchbarem Weidenholz oder Pflanzstöcken mufs fortfallen. Es ist vielmehr nöthig an den Stellen, wo das Strauch am besten gedeiht, es immer vor Eintritt des Hochwassers abzutreiben. Dieses mufs sogar erfolgen,

wenn auch zu befürchten ist, dafs die Pflanzung wegen des zu häufigen Abschneidens absterben könnte. An denjenigen Stellen dagegen, wo die Pflänzlinge nicht anwachsen und daher die Verlandung zurückbleibt, mufs man durch Zäunungen oder sonstige Erhöhung der Krone deren Regelmäfsigkeit immer wiederherstellen, und ein besonders heftiges Uebereinströmen einzelner Stellen verhindern. Bei dieser Vorsicht ist das Bepflanzen der Krone allerdings zulässig, besonders wenn Strom und Eisgang nur mäfsig sind, und keine Dampfschiffahrt besteht. Wenn die Buhnen aber später mit Steinen bedeckt werden sollen, so ist dieses, nachdem sie theilweise bereits verlandet sind, nur noch auf den vordern Theilen der Werke nöthig, die allein fernern Angriffen ausgesetzt bleiben.

Wenn man, wie gewöhnlich, das Packwerk nur schwach belastet hat, so pflegt man wohl die Krone bis zur beabsichtigten Höhe heraufzuführen, aber die Pflanzung darauf nicht sogleich anzubringen, sondern das Werk längere Zeit und wenigstens einige Monate hindurch unvollendet stehn zu lassen, damit die starken Sackungen, die stellenweise oder im Ganzen eintreten, vor Aufbringung der Pflanzlage noch ausgeglichen werden können. Ist das Werk im Frühjahr gebaut, so kann man es ohne weitern Schutz während des Sommers sich selbst überlassen und es im Herbst bepflanzen, wenn das Packwerk aber erst im Herbst beendigt wurde, so pflegt man die Krone vorläufig durch eine todte Rauhwehr gegen den Strom des Hochwassers und den Eisgang zu sichern, und die Bepflanzung im Frühjahr vorzunehmen.

Hat man dagegen nach der vorhin beschriebnen Constructionsart grofse Sand- und Kiesmassen während des Baues auf der Krone abgelagert, und dadurch die vollständige Compression des Werks bewirkt, so kann man, wenn der Bau nicht etwa in den Sommermonaten fertig wird, sogleich die Bepflanzung vornehmen. Dieses ist besonders im Herbst von Wichtigkeit, weil dadurch die interimistische Decke oder die todte Rauhwehr entbehrt wird.

Die zum Auswachsen bestimmte Strauchdecke erhält, wenn ein starker Angriff nicht erwartet werden darf, keinen weitern Schutz, als dafs sie wie die andern Lagen mit Würsten benagelt wird. Man nennt sie alsdann Spreitlage. Wenn dagegen zu besorgen ist, dafs durch den Strom und das Eis die Würste nebst der aufgebrachten Erde forttreiben könnten, so bringt man die

Pflanzreiser, welche in diesem Falle in gröfserer Anzahl zur Anwendung kommen, in der Art auf, dafs ihre Wipfelenden, die jedesmal stromabwärts gekehrt sind, die äufsere Decke bilden. Durch diese Anordnung entsteht eine sogenannte Rauhwehr.

Um die Spreitlage darzustellen, wird das Werk, nachdem es sich gehörig gesetzt hat, regelmäfsig aufgeholt und ausgeglichen, auch vollständig mit gewöhnlichem Beschwerungs-Material versehn. Letzteres mufs jedoch in die Zwischenräume des Strauchs herabgetrieben werden und darf nicht in grofser Höhe auf der Krone liegen. Alsdann bringt man eine Lage vegetabilischer Erde von etwa 1 Fufs Höhe auf, in welcher das Strauch Wurzel schlagen kann. Die Pflänzlinge bestehn in frisch geschnittenen Reisern aus Weidenstrauch und sind am Stammende etwa $\frac{3}{4}$ Zoll stark. Man legt die Bündel dieser Reiser, oder die Pflanzfaschinen, in den meisten Fällen nach der Quere, und zwar im Abstande von 2 bis 3 Fufs, auf die Krone des Werks, schneidet alsdann die Bänder auf, breitet das Strauch gehörig aus und vertheilt es, so dafs die Zweige ziemlich nahe neben einander liegen und die Erdschicht gehörig bedecken. Die Wipfelenden sind dabei stromabwärts gekehrt, und wenn die Breite der Buhne gröfser ist, als die Länge der Reiser, so mufs man einen Theil derselben weiter ausziehn, oder auch wohl zwei Reihen Faschinen neben einander legen. Hierauf werden an jeder Seite doppelte Randwürste genagelt und aufserdem in Abständen von etwa 2 Fufs über den mittlern Theil nach der Länge des Werks Würste gelegt und festgenagelt. Endlich karrt man darüber wieder gute Erde, so dafs die Würste dadurch flach bedeckt werden. Man rechnet auf die Quadratruthe 4 bis 6 Bunde, deren jedes 120 Reiser enthält, 7 bis 8 Ruthen Würste, 100 Pfähle und $1\frac{1}{3}$ Schachtruthen Erde.

Die Spreitlagen werden gewöhnlich im Herbst aufgebracht, da sie alsdann aber vor Eintritt des Winters nicht mehr anwachsen, so werden sie an manchen Strömen schon im Sommer, sogleich nach Beendigung jeder Buhne, dargestellt. Im diesem Fall müssen sie jedoch, so oft es nöthig ist, begossen werden, auch mufs man dafür sorgen, dafs sie in dieser Zeit überall mit Erde bedeckt bleiben. Gewöhnlich ist nach einigen Jahren eine bedeutende Ausbesserung derselben nothwendig, weil die neue Buhne beim Uebertritt des Hochwassers stellenweise zu versacken pflegt, woher, sobald

Letzteres nicht mehr zu besorgen ist, die Regulirung der Krone nöthig wird.

Um eine gröfsere Anzahl von Trieben zu erhalten, bindet man zuweilen auch die Würste aus frischen Pflanzreisern und schneidet selbst die Faschinenpfähle aus frischen Weidenzweigen. Beides veranlafst in vielen Fällen keine bedeutende Mehrkosten, und alsdann ist diese Anordnung angemessen. Wenn aber das frische Weidenholz in hohem Preise steht, so ist es nicht zweckmäfsig, es in die Würste zu binden, weil es daselbst wenig mit der Erde in Berührung kommt und daher nicht so leicht Wurzel schlagen kann, als die eigentliche Spreitlage. Es ist daher vortheilhafter, in solchem Falle diese zu verstärken und gewöhnliche Würste zu benutzen. Man kann aber das Anwachsen der Reiser noch dadurch befördern, dafs man ihre Stammenden in die Erde steckt und sie reihenweise vertheilt, so dafs sie in jeder einzelnen Reihe sich nicht unmittelbar berühren, ihre Stammenden dagegen um so mehr mit Erde umgeben sind. Es entsteht dadurch eine Anordnung, welche mit einer Rauhwehr schon nahe übereinstimmt, aber noch Spreitlage genannt wird, so lange nicht die Würste von den Wipfelenden des Strauchs überdeckt werden.

Indem unmittelbar neben der Wurzel der Buhne die Ufer stark angegriffen werden, was namentlich in der ersten Zeit zu geschehn pflegt, so empfiehlt es sich die Spreitlagen auch hier einige Ruthen weit fortzusetzen. Zu diesem Zweck werden vorher durch Erdanschüttungen die Dossirungen der Buhne sowol auf der obern, wie auf der untern Seite in flachen Bogen an die Ufer angeschlossen, wie Fig. 90. auf Taf. XII. zeigt, und auf diesen die Deckungen fortgesetzt.

Was über die Zeit gesagt ist, in welcher die Pflanzreiser verlegt werden müssen, so wie auch über die Beschaffenheit derselben und über die Wahl des Holzes an den Würsten und Pfählen, findet in gleicher Weise bei den Rauhwehren Anwendung. Auch hier wird nach gehöriger Ausgleichung und Belastung des Werks eine Erdschüttung aufgebracht, die reichlich 1 Fufs stark sein mufs, indem sie zugleich zur vollständigen Ueberdeckung der Stammenden dient. Nachdem diese Erde gehörig ausgebreitet und festgetreten oder schwach angestampft ist, hebt man darin an der stromabwärts gekehrten Seite, und zwar nach Maafsgabe der Länge der Pflanz-

reiser, im Abstande von 4—8 Fuſs vom Rande einen Graben aus, wie Fig. 141. auf Taf. XVII. zeigt. Die Dossirung desselben ist auf der einen Seite steil, auf der andern dagegen sehr flach. Die ausgehobne Erde wird auf die entgegengesetzte Seite der Krone geworfen. In den Graben legt man die Pflanzfaschinen wieder im Abstande von 2 bis 3 Fuſs, schneidet ihre Bänder auf und vertheilt die Reiser recht gleichmäſsig, so daſs alle Stammenden gegen die steile Grabenwand stoſsen. Die Wipfelenden reichen 2½ Fuſs über den Rand der Krone. Alsdann nagelt man drei Würste darüber, von denen die äuſsere aber wenigstens noch 1 Fuſs vom Rande der Krone entfernt sein muſs.

Ist dieses geschehn, so bildet man im Abstande von 2½ Fuſs vom ersten Graben einen zweiten, und wirft die ausgehobne Erde zwischen die erwähnten Würste, indem man dafür sorgt, daſs ein recht ebnes Lager für die nächste Reihe der Pflanzreiser entsteht. Ein Ueberdecken der Würste mit Erde ist nicht erforderlich, aber der Zwischenraum muſs vollständig angefüllt sein, und besonders ist dahin zu sehn, daſs die Erde recht fest die Stammenden jener ersten Reihe umgiebt. Man bringt dann in derselben Art die Reiser und Würste auf und die Zwischenräume zwischen diesen werden wieder mit der Erde aus dem dritten Graben angefüllt, und so fort bis die vorletzte Reihe gelegt und mit Erde überdeckt ist. Die letzte Reihe endlich entbehrt des Schutzes, welchen alle frühern erhielten, weil sie durch keine folgende überdeckt wird. Es ist daher nöthig, sie auf andre Weise gehörig zu sichern. Dieses geschieht, indem man sie etwas tiefer an der Dossirung des Werks herabzieht und sie schon hier mit mehreren Würsten überdeckt und festnagelt. Diese untern Würste sind keinem starken Angriff ausgesetzt, indem sie weder vom überfallenden Strom, noch vom Eise getroffen werden. Damit aber diese Reihe der Reiser die nächsten Würste gehörig überdeckt, müssen sie möglichst lang sein, und man thut daher wohl, die längsten Faschinen und das stärkste Strauch hier zu verwenden, dessen Auswachsen wegen der ungeschützten Ueberdeckung mit Erde immer zweifelhaft ist. Man pflegt freilich auch zwischen diesen Würsten die Erdschüttung aufzubringen, die jedoch gemeinhin beim ersten Hochwasser fortgespült wird.

In gleicher Weise, jedoch mit dem Unterschiede, daſs man trocknes Reis und statt der Erde Sand oder Kies anwendet, wer-

den Buhnen, die in später Jahreszeit erbaut sind, gegen den nächsten Eisgang geschützt. Man nennt eine solche Decke eine todte Rauhwehr, und die erste im Gegensatze derselben eine lebendige.

Auch Uferdeckwerke und Parallelwerke werden oft mit Spreitlagen und Rauhwehren bedeckt. In beiden Fällen stimmt die Construction derselben mit der beschriebnen überein, und zwar werden auch hier die Pflanzreiser und Würste in derselben Richtung gegen die Werke verlegt. Eine Ausnahme findet nur bei denjenigen Uferdeckungen statt, an welchen zur Zeit des höhern Wasserstandes ein heftiger Strom sich bildet, der nicht herüberstürzt, sondern sie der Länge nach trifft. Dieses Verhältnifs tritt nur ein, wenn das Werk sich hoch erhebt, oder wenn das Packwerk vor einem hohen Ufer liegt und letztres gleichzeitig durch die Rauhwehr gegen Abbruch geschützt werden soll. In solchem Falle müssen die Reiser, welche die folgenden Faschinen überdecken, ungefähr in der Richtung des Stroms liegen, die Würste müssen daher normal oder wenigstens schräge gegen das Ufer gelegt werden. Das Letzte ist in sofern vortheilhafter, als die Würste bei dieser Anordnung eine etwas gröfsere Länge erhalten, und deshalb sicherer befestigt werden können.

Endlich ist noch derjenigen Anordnungen zu erwähnen, durch welche man starke Vertiefungen neben den Werken verhindert. Solche können entweder während des Baues oder später eintreten. Welche Nachtheile daraus entstehn, wenn in der Zeit der Ausführung einer Buhne die Tiefe vor ihrem jedesmaligen Kopfe sich bedeutend vergröfsert, ist bereits erwähnt worden. Aber auch nach der Beendigung des Werks ist es für dasselbe gefährlich, wenn unmittelbar daneben grofse Vertiefungen sich zeigen. Die Sand- oder Kiesschicht, welche die Buhne trägt, erfordert nämlich eine gewisse flache Böschung, wenn sie im Gleichgewicht sich erhalten soll. Entsteht daher am Fufs des Kopfes eine Auskolkung mit steilen Wänden, so stürzen die einzelnen Körnchen aus den letztern herab, und wenn diese vom Strom immer fortgetrieben werden, so fliefst der Sand so lange nach, bis der nächst gelegne Theil des Werks seine Unterstützung verliert und herabsinkt. Dieses ist in zweifacher Beziehung sehr nachtheilig. Einmal stellt der Kopf sich steiler, als er früher war, woher die Wirbel-Bewegung davor sich

verstärkt und neue und gröfsere Vertiefungen veranlafst. Sodann verliert auch das zwischen und auf die Faschinenlagen aufgebrachte Senkmaterial bei der stärkern Neigung seine Unterstützung und stürzt herab, worauf der entblöfste Kopf des Werks um so leichter abgebrochen wird. Indem Zerstörungen dieser Art besonders zu besorgen sind, wenn der Kopf nicht in tiefem Wasser erbaut wird, sondern zufällig auf eine hoch liegende Sandbank trifft, so pflegt man zuweilen diejenigen Werke, vor welchen starke Vertiefungen zu erwarten sind, absichtlich recht langsam zu bauen, damit schon während der Ausführung alle Veränderungen eintreten, deren nachtheiligen Folgen vorgebeugt werden soll. Dieses Mittel ist aber nicht nur sehr kostbar, sondern auch unsicher, weil die volle Vertiefung erst einzutreten pflegt, wenn das Werk schon längere Zeit gelegen und die Einwirkung der verschiednen Wasserstände erfahren hat.

Vortheilhafter ist es, die günstigen Verhältnisse zu benutzen, also durch möglichste Beschleunigung des Baues die Vertiefungen zu verhindern, die in der ganzen Ausdehnung des Werks einen Mehrbedarf an Material und vermehrte Arbeitskraft fordern würden. Nur der Kopf mufs in tieferem Wasser aufgeführt werden, und solches geschieht am einfachsten, wenn man hier eine Hand-Baggermaschine aufstellt, oder auch wohl nur mittelst des Sackbaggers aus freier Hand die Vertiefung künstlich bewirkt. Indem das dabei gewonnene Material sogleich zur Beschwerung der Faschinenlagen benutzt werden kann, so stellen sich die Kosten für diese Arbeit nicht besonders hoch.

Eine andre Vorsichts-Maafsregel zur Verhinderung von Vertiefungen vor den Packwerken, die man vielfach anwendet, bezieht sich darauf, dafs man die Dossirungen mit weit vortretenden Senklagen umgiebt. Diese sind freilich selbst dem Versinken ausgesetzt und nehmen dabei eine steilere Lage an, treten sie aber hinreichend weit vor die Werke vor, und sind sie mit Steinen beschwert, so bieten sie einen sehr sichern Schutz. Fig. 134. auf Taf. XVI. zeigt eine solche im Quer-Profil des Ufer-Deckwerks. Um unter ungünstigen Umständen einer starken Vertiefung während des Baues vorzubeugen, mufs man schon vorher den Grund sicher stellen. Wird eine Buhne aus Steinen ausgeführt, so ist dieses leicht. Man braucht nämlich nur mit dem Anschütten einer

schwachen Lage von Steinen in der ganzen Ausdehnung des Werks den Anfang zu machen und man kann dieselbe Maafsregel auch beim Packwerksbau eintreten lassen, indem man ein massives Fundament vorher anschüttet. Auf einem leicht beweglichen Flufsbette liegt eine solche Steinschüttung aber keineswegs sicher, besonders wenn sie wegen der Kostbarkeit des Steinmaterials nur eine geringe Stärke erhält. Das Wasser dringt alsdann durch die freien Zwischenräume leicht hindurch, spült den Sand oder die Erde dazwischen und darunter fort, und die Steine versinken. Dieses wird aber verhindert, wenn man die Steine auf eine Strauchbettung legt. Zur Darstellung der letzten dienen wieder verschiedne Arten des Faschinenbaues. Das Strauchbett kann nämlich aus Senkfaschinen, aus Senkstücken oder aus Packwerk bestehn und in der That finden sich Beispiele von allen drei Methoden. Von der ersten und zweiten ist bereits die Rede gewesen, ich gehe daher zur letzten über.

Die sogenannten Senklagen werden auf dem Wasser schwimmend und gemeinhin nahe übereinstimmend mit den gewöhnlichen Packwerkslagen ausgeführt, so dafs sie sich von diesen nur durch ihre grofse Länge unterscheiden. Man mufs sie aber sehr lang machen, da sie die Basis der ganzen Buhne oder des Parallelwerks bilden, und wenn eine spätere Vertiefung davor oder daneben besorgt wird, sogar vor dieselben vortreten sollen. Die Senklage besteht wieder aus einer Ausschufslage und einer Rücklage. Es ist aber klar, dafs ihre Länge die Zusammensetzung aufserordentlich erschwert und dieses um so mehr, als sie keine grofse Dicke erhalten darf, weil sie in diesem Fall das Durchfluſs-Profil schon verringern und sonach während ihrer Ausführung die Vertiefung bereits eintreten würde, die sie verhindern soll. Der vor das Werk vortretende Theil der Senklage, der nur als Bettung für den Steinwurf dient, bedarf überdies keiner grofsen Stärke. Die Senklage unterscheidet sich von der gewöhnlichen Packwerkslage noch dadurch, dafs sie nicht in ihrer ganzen Ausdehnung schwimmend erhalten werden kann, weil sie sonst vom Strom zu sehr angegriffen werden würde. Man macht daher mit der Versenkung schon den Anfang, sobald sie so lang ist, dafs die Verbindung des gesunknen Theils mit dem noch schwimmenden erhalten werden kann.

Am einfachsten und leichtesten ist die Ausführung der Senk-

lage für ein Uferdeckwerk oder ein Parallelwerk, dessen Längenrichtung mit der des Stroms übereinstimmt. Man kann nämlich in diesem Fall die Senklage darstellen, ohne besondre Vorsichtsmaafsregeln zur Erhaltung ihrer gehörigen Richtung zu treffen. Man beginnt den Bau am obern Ende und wirft eine Reihe Faschinen nach der andern aus, die jedesmal soweit vortreten, dafs nur eben diejenige Dicke dargestellt wird, welche zum Zutragen und Auswerfen der Faschinen nothwendig ist. Unter den angeführten Umständen wird das Werk nicht seitwärts vom Strom getroffen, und der Stofs des Wassers in der Längenrichtung ist gemeinhin auch so unbedeutend, dafs er die in einander greifenden einzelnen Faschinen nicht trennt. Nichts desto weniger mufs man, sobald mehrere Ausschufsreihen geworfen sind, zur Befestigung derselben einige Würste als Anker darüber nageln. Ist man soweit vorgegangen, dafs ein Theil schon versenkt werden kann, so beginnt man den Bau der Rücklage, doch nicht am äufsern Ende der Ausschufslage, sondern so weit davon entfernt, dafs dieselbe ohne Unterbrechung später fortgesetzt werden kann. Die Rücklage hält man gemeinhin möglichst schwach und führt sie bis zum Ufer oder dem noch über Wasser tretenden Theil zurück. Das Aufbringen der Würste geschieht ebenso wie bei den Packwerks-Lagen und die Versenkung, wobei man nur Steine anwenden kann, die so grofs sind, dafs sie vom Strom nicht fortgetrieben werden, beginnt am Ufer und man geht damit so weit vor, dafs der äufsere Theil der fertigen Lage noch sicher, also wenigstens in der Länge von etwa zwei Ruthen auf dem Wasser schwimmt.

Man mufs sich bemühn, die Steine gleichmäfsig aufzubringen. Dieses läfst sich allerdings einigermaafsen durch Peilen controlliren, aber sichrer ist es, die Steine sogleich recht regelmäfsig auszuwerfen. Zu diesem Zweck bezeichnet man durch ausgesteckte Stangen die Grenze, bis zu welcher jede Kahnladung verbraucht werden soll, und wenn die Ladung grofsentheils ausgeworfen ist, so untersucht man mit der Peilstange, ob einzelne Stellen vielleicht noch nicht bedeckt sind, und auf diese vertheilt man den Rest. Aufserdem sorgt man noch in andrer Art dafür, dafs die Steine jeder Ladung recht gleichmäfsig in dem bestimmten Raum vertheilt werden. Man beginnt die Beschüttung in dem Anfangspunkt des Werks und geht damit nach und nach weiter vor, alsdann giebt

die Eintauchung des schwimmenden Theils schon auffallende Unregelmäfsigkeiten deutlich zu erkennen. Wenn z. B. die Belastung an einer Seite viel stärker wäre, als an der andern, so würde die Eintauchung an jener Seite sich weiter, als an dieser erstrecken. Endlich ist noch darauf zu achten, dafs an der Stelle, wo die Beschwerung vorläufig aufhört, diese nicht in der vollen Stärke angebracht werden darf, sondern allmählig auslaufen mufs, weil sonst ein Bruch in der Lage erfolgen könnte, wodurch die Verbindung theilweise oder ganz gelöst würde.

Wenn die Versenkung des ersten Theils, so wie eines folgenden stattgefunden hat, so mufs man sich davon überzeugen, ob der noch schwimmende Theil sich im gehörigen Abstande vom Ufer oder in der bestimmten Richtung befindet. Beim Versenken kann nämlich leicht ein Verziehn der Lage eintreten, und besonders ist dieses zu besorgen, wenn sie sehr lang ist. Bemerkt man solche Abweichung gegen die beabsichtigte Richtung, so ist es unmöglich, den bereits versenkten Theil anders zu verlegen, aber auch der noch schwimmende läfst sich nur sehr schwer nach einer oder der andern Seite hinüber ziehn. Wenn man jedoch hierauf aufmerksam bleibt, so ist die zuerst bemerkte Abweichung nur gering und bei Fortsetzung des Baues leicht auszugleichen.

Die folgende Ausschufslage schliefst sich ohne Unterbrechung an die frühere an, die Rücklage dagegen greift jedesmal über die vorhergehende über und zeigt hier, was sonst bei der Rücklage nicht vorkommt, die Stammenden der Faschinen. Die Würste endlich reichen bis auf den vorhergehenden fertigen Theil der Senklage. Hierdurch wird allerdings in den Stöfsen der Rücklage die Dicke der ganzen Senklage etwas vergröfsert. Im Allgemeinen bleibt die Stärke der Senklage, nachdem der Steinbewurf aufgebracht ist, unter 3 Fufs, und es gelingt zuweilen, dieselbe bis auf 2 Fufs zu reduciren. Die Ausführung wird dadurch beschleunigt, dafs während des Versenkens des hintern Theils der vordere gleichzeitig weiter gebaut werden kann.

Es wurde schon erwähnt, dafs man durch Anwendung besondrer Mittel die Ausschufslagen beim Packwerksbau weit vortreiben kann. Auf dieselbe Art und namentlich durch Benutzung von Schwimmbäumen wird es auch möglich, die Senklagen weit in den Strom herauszuführen, was besonders nöthig ist, wenn durch

diese die Vertiefung in der Richtung einer Buhne verhindert werden soll. Zuweilen legt man, um der vordern Lage mehr Tragfähigkeit zu geben, dieselbe auf den Rand eines vor Anker liegenden Kahns, der also in diesem Falle die Stelle des Schwimmbaumes vertritt. Wenn aber ein besonders starker Strom durchschnitten werden soll, so zeigen sich alle diese Mittel beim Bau der Senklagen als unzureichend, und man ist alsdann gezwungen, von dieser Constructionsart ganz abzugehn und statt der Senklagen eine Reihe von Senkstücken oder Senkfaschinen anzuwenden.

Man kann die Senklagen auch so verbinden, dafs sie etwas mehr Festigkeit erhalten und selbst im heftigen Strom auf grofse Längen noch sicher dargestellt und im Zusammenhange versenkt werden können. In dieser Beziehung sind verschiedenartige Versuche gemacht worden. Bei Coupirung des linkseitigen Rheinarmes oberhalb der Einmündung des Erft-Kanals bei Neuss wurde die Senklage aus Würsten und Faschinen zusammengeflochten. Man befestigte an dem Ufer, wo der Bau beginnen sollte, fünf Würste im Abstande von etwa 7 Fufs von einander. Dieselben waren über einen niedrigen Bock auf einem vor Anker liegenden Nachen gezogen, in welchem die Senklage zusammengesetzt wurde. Man hatte Faschinen (eigentlich Würste) von 4 Ruthen Länge gebunden, die zwischen jene Würste geschoben wurden, und zwar so, dafs diese abwechselnd über und unter den einzelnen Faschinen lagen. Hierdurch entstand ein vollständiges Gewebe von 4 Ruthen Breite, dessen Kette die Würste und dessen Einschlag die Faschinen waren. Beim Vorrücken der Arbeit wurde der Nachen weiter vom Ufer entfernt, und wenn das Ende einer Wurst erreicht war, so band man eine neue daran. Der fertige Theil wurde aber immer sogleich mit Steinen versenkt, so dafs nur das letzte Ende desselben auf dem Wasser schwimmt.

Wenn die Senklage den Zweck hat, eine spätere Vertiefung neben dem Werk zu verhindern, so mufs sie so weit vortreten, dafs sie die gröfste zu erwartende Tiefe noch etwa mit dreifacher Anlage erreicht. Wie grofs die Vertiefung äufsersten Falls ist, läfst sich bei Strömen, deren Regulirung man bereits seit längerer Zeit begonnen hat, ziemlich sicher beurtheilen. Man wird aber die Senklagen nur da anbringen, wo dieses durchaus nöthig ist, also vor oder neben den Köpfen der Buhnen und neben den Parallel- oder

Uferdeckwerken, wenn dieselben in scharfen Concaven liegen. Die Construction ist im letzten Falle genau übereinstimmend mit der beschriebnen, und es ist dabei nur zu erwähnen, dafs die Steine, die zur Beschwerung dienen, hinreichend grofs und lagerhaft ausgesucht werden müssen, weil sie dauernd dem Anfall des Stroms ausgesetzt bleiben und weil sie auch nicht herabrollen dürfen, falls die Senklage eine starke Neigung annehmen sollte.

Die vorstehend beschriebnen Senklagen wurden vor einigen Jahrzehenden bei den Strombauten am Rhein im Regierungsbezirk Düsseldorf mit gutem Erfolg angewendet, man ist indessen in neurer Zeit ganz davon zurückgekommen, weil Senkfaschinen für diesen Zweck gröfsere Sicherheit bieten, auch ihre Benutzung weniger von Zufälligkeiten abhängig ist.

Um nachtheilige Vertiefungen neben den Werken zu verhindern, wendet man noch ein andres Mittel an. Man deckt nämlich zuweilen nicht nur den Grund, sondern bildet durch Steinschüttung flache Köpfe, welche als niedrige Einbaue die unmittelbare Annäherung des Stroms verhindern. Solche Köpfe bilden vor den Buhnen gleichsam eine Fortsetzung derselben, die bis zur Sohle der tiefen Stromrinne flach abfällt. Wie vortheilhaft diese Anordnung ist, wurde schon früher erwähnt. Auch vor Uferdeckwerken sind sie zuweilen von Nutzen, doch mufs bei ihrer Anordnung stets darauf Rücksicht genommen werden, dafs sie die Schiffahrt nicht hindern oder gefährden. Fehlt diesen Köpfen aber die flache Böschung, so befördern sie mehr den Angriff des Stroms auf die Uferdeckung, als dafs sie letztere schützen.

§. 38.
Schlickfänge.

Die Regulirungswerke, deren Construction bisher beschrieben worden, haben den Zweck, den Strom von gewissen Stellen seines Bettes oder Ufers zurückzuweisen, und müssen daher so fest sein, dafs sie dem Andrange des Wassers und Eises gehörigen Widerstand leisten. In vielen Fällen besteht die Aufgabe nur darin, flache Stellen im Bette oder niedrige Ufer, die vom stärksten Strom

nicht getroffen werden, zur Verlandung zu bringen oder zu erhöhen. Dieses läfst sich durch leichtere Bauwerke schon erreichen. Man bezeichnet solche mit der allgemeinen Benennung Schlickfänge, wiewohl der Name nicht ganz passend ist, da sie weniger dazu bestimmt sind, den Schlick d. h. die im Wasser schwebenden erdigen Theilchen, als vielmehr die gröbern Stoffe aufzufangen, welche längs der Sohle des Bettes vom Hochwasser fortgetrieben werden. Die andern Benennungen: Schlickzäune, Flechtzäune und Traversen beziehn sich theils auf bestimmte Constructionsarten, theils aber überhaupt auf Einbaue. Traversen nennt man in manchen Gegenden eben sowohl gröfsere Buhnen, als leichte Nebenwerke.

Die Schlickfänge werden vorzugsweise zwischen den Buhnen erbaut, und zwar kommen sie gemeinhin erst zur Ausführung, wenn diese schon merkliche Wirkungen gezeigt haben. Die Verlandung zwischen den Buhnen erfolgt selten ganz regelmäfsig. An einzelnen Stellen und zwar meist getrennt vom Ufer zeigt sie sich zuerst, aber in den zwischenliegenden Rinnen bleibt zur Zeit des mittlern Wassers, wobei die Buhnen nicht mehr überfluthet werden, noch eine starke Strömung, welche diese Rinnen immer von Neuem vertieft oder wenigstens lange Zeit hindurch offen erhält. Man kann dieselben durch kurze Werke sperren, oder auch längere Werke vom Ufer aus bis zur neuen Uferlinie über die Verlandung fort hinausführen. Solche Zwischenwerke liegen im Schutz der Hauptbuhnen, sie brauchen daher nicht besonders fest construirt zu werden, und wenn sie vielleicht durchbrechen sollten, so ist der Nachtheil nicht grofs, da die Hauptwerke ihre vollständige Zerstörung oder die Ausbildung sehr tiefer Rinnen verhindern und andrerseits bei ihrer einfachen und wenig kostbaren Construction auch die Wiederherstellung leicht ist. Als allgemeine Regel mufs es gelten, diese Werke immer ziemlich niedrig zu halten, und ihnen niemals eine gröfsere Höhe, als die der Buhnen zu geben. An den tiefsten Stellen müssen sie einander am nächsten stehen, damit vorzugsweise hier die zur Zeit des Hochwassers vorbeitreibenden Sand- und Kiesmassen niedersinken und möglichst gleichmäfsige Verlandungen bilden.

Zuweilen setzen die Schlickfänge das System der Hauptbuhnen auf längere Strecken selbstständig fort, und namentlich geschieht

dieses an solchen Stellen, wo die Concave aufhört und die gewählte Uferlinie sich in gerader Richtung fortzieht oder eine entgegengesetzte oder convexe Krümmung annimmt. Vor convexen Ufern ist der Andrang des Stroms gemeinhin nur mäfsig, auch findet daselbst schon eine starke Tendenz zum Verlanden statt. Die Einbaue, die unter solchen Umständen zur Beschränkung der Profilweite und zur Ausbildung der Ufer dienen, brauchen daher nicht besonders fest zu sein, und es genügt alsdann, statt der Buhnen, Schlickfänge anzulegen. Es geschieht daher nicht selten, dafs man dem System der Hauptwerke gegenüber nur Schlickfänge anlegt. Bei kleinern Strömen genügen aber solche leichtere Werke schon für alle Strom-Correctionen, und dieses nicht nur, wenn Eisgang und Strömung überhaupt schwach sind, sondern auch in dem Falle, wenn die Anschwellungen sich hoch über sie erheben. Es kommt dabei besonders darauf an, dafs zur Zeit der niedrigen Sommerwasserstände oder während des Baues die vorhandenen Tiefen nicht bedeutend sind, weil man entgegengesetzten Falles die Schlickfänge nicht ausführen kann. Werden sie später hoch überfluthet, und findet der Eisgang bei so starker Anschwellung statt, dafs sie vom Eise nicht erreicht werden, so sind sie auch wenig Beschädigungen ausgesetzt, während sie gleichwohl das auf der Sohle treibende Material auffangen, und sonach ihren Zweck erfüllen. Sind sie aber nach einer oder nach mehreren Fluthen so weit verlandet, dafs ihre fernere Wirksamkeit aufhört, während das flache Ufer, auf welchem sie stehn, noch nicht bis zur beabsichtigten Höhe aufgewachsen ist, so kann man über oder neben den ersten Schlickfängen neue erbauen, und dadurch eine gleichmäfsige Ausbildung der Ufer bewirken. Es giebt kaum eine andre Methode des Strombaues, welche durch gleiche geringe Mittel so sicher die Stromregulirung veranlafst. Nur wenn die Tiefen, selbst bei niedrigem Wasserstande, noch bedeutend sind, oder in scharfen Krümmungen, wo der Andrang des Wassers zu stark ist, sind die solideren und kostbareren Constructionen, von denen bisher die Rede war, nicht zu umgehn. An der obern Weser in der Gegend von Höxter wurden früher die meisten Stromregulirungen allein durch solche leichte Bauwerke bewirkt.

Die Construction der Schlickfänge ist sehr verschieden. Am leichtesten sind sie darzustellen, wenn man ganze Bäume mit

allen Aesten und Zweigen in den Strom wirft. An den kleinen Flüssen im Harz sah man dieses häufig, auch ist es bei Schiffbarmachung der Midouze *) zum Theil geschehn, wo man zwischen die Hauptwerke, die jedoch selbst nur aus Flechtzäunen bestanden, Bäume versenkte. Dabei wird das Wurzelende auf das Ufer gelegt und der Wipfel reicht in den Fluſs hinein. Die Mängel dieses Verfahrens sind so auffallend, daſs sie kaum erwähnt werden dürfen. Bei hohem Wasser entsteht die Besorgniſs, daſs der ganze Baum fortschwimmt oder wenigstens in eine unpassende Lage kommt, weil eine Beschwerung desselben nicht anzubringen ist. Auſserdem läſst sich die Länge und Höhe eines solchen Werks nicht gehörig reguliren, und wenn an einer Stelle unter demselben eine starke Vertiefung eintritt, was bei der Ungleichmäſsigkeit der Aeste und Zweige leicht geschehn kann, so erfolgt kein Nachsinken, wie etwa beim Packwerk, vielmehr wird die Oeffnung immer mehr erweitert, wodurch leicht groſse Unregelmäſsigkeiten veranlaſst werden.

Zuweilen werden die Schlickfänge aus Faschinen und zwar als Packwerk erbaut. An manchen Orten nennt man diejenigen Buhnen, die nur eine geringe Kronenbreite haben, Schickfänge. Bei mäſsiger Wassertiefe und geringer Strömung treten dabei manche Erleichterungen während des Baues ein, und alle Schwierigkeiten, denen man sonst begegnet, ermäſsigen sich oder verschwinden ganz. Die Seitendossirungen pflegt man in diesem Fall steiler zu halten, als bei den Buhnen, auch nur durch Faschinenpfähle die Lagen auf einander zu befestigen. Wenn die Seitendossirungen ganz fehlen, oder die Werke wenigstens sehr steile Wände haben, so pflegt man sie durch starke eingerammte Pfähle zu sichern, wie Fig. 142. auf Taf. XVII. zeigt. Man macht mit dem Einrammen der Pfähle den Anfang, indem dieselben in jeder Reihe ungefähr 6 Fuſs auseinander stehn. Da die Breite des Werks in der Regel auch nur 6 Fuſs beträgt, so müssen die Faschinen anders, als in den Packwerkslagen ausgeworfen werden. Am passendsten dürfte es sein, sie schräge gegen die Richtung des Werks neben einander zu legen, und die folgende Faschinenreihe nach der andern Seite zu kehren. Man erreicht dadurch den Vortheil, daſs die Wipfelenden immer nach auſsen gerichtet bleiben, und sonach das Heraustreiben des

*) *Annales des ponts et chaussées* 1831. *II. p.* 37.

Beschwerungs-Materials am sichersten verhindert wird. Indem die Lagen von den beiden Pfahlreihen festgehalten werden, so läfst sich der Bau immer leicht und sicher fortsetzen, man thut aber wohl, die einzelnen Lagen nicht gar zu stark zu machen, weil sonst das Beschwerungs-Material zu ungleichmäfsig vertheilt wäre. Aufserdem müssen die Lagen auch hier durch übergenagelte Würste in sich verbunden und so angeordnet werden, dafs eine gehörige Kopfböschung vor dem Werke entsteht. Endlich wird die Krone in gleicher Weise, wie bei Buhnen, mit Steinen oder mit einer Spreitlage gedeckt.

Ebenso kann man in Gegenden, wo das Steinmaterial wohlfeil ist, die Schlickfänge aus Steinschüttungen bilden, welche aber, damit sie beim Ueberstürzen des Wasser nicht leiden, in der Krone wieder abgepflastert werden.

Auch Senkfaschinen werden zu gleichem Zweck gewählt, und wenn dieselben bei dem abwechselnden Wasserstande auch besonders vergänglich sind, so treten bei dieser Constructionsart doch manche Vortheile ein, welche sie besonders empfehlen. Dahin gehört namentlich der Umstand, dafs der Material-Bedarf sich sehr geringe herausstellt, und dennoch eine Unterspülung des Werks nicht eintreten kann, da die Faschinen immer von selbst herabsinken und die entstandenen Vertiefungen ausfüllen. Wenn aber die obere Lage beschädigt sein sollte, so kann sie leicht durch eine neue ersetzt werden. An der Wertach in der Gegend von Augsburg hat man Stromregulirungen auf diese Art ausgeführt, deren günstige Erfolge gerühmt werden. *) Die daselbst gewählte Constructionsart ist in Fig. 143. *a* und *b*, so wie in Fig. 144. dargestellt, jedoch mit Einführung einiger Aenderungen, die erforderlich sein dürften. Letztere beziehn sich zunächst auf die Darstellung der Kopfdossirung und eine geringe Neigung der Krone, sodann auf die Sicherung der Wurzel, wovon später die Rede sein soll, und endlich auf die Stellung der Pfähle in den verschiednen Reihen, welche wohl am vortheilhaftesten so angeordnet werden, dafs die Pfähle sich immer gegenüber stehn, weil die Faschinen sich

*) Voit, über die Correction des Wertach-Flusses, in Crelle's Journal für die Baukunst, Band II. Seite 237.

sonst krümmen und alsdann weniger regelmäfsig und fest auf einander liegen.

Die Senkfaschinen erhalten in diesem Fall eine Stärke von 1 bis 1¼ Fufs, die Entfernung der Pfahlreihen mufs so grofs sein, dafs die Faschinen mit Leichtigkeit dazwischen gepackt werden können. Der Abstand der einzelnen Pfähle von einander beträgt etwa 4 Fufs. Die Pfähle sind bei 6 Fufs Wassertiefe etwa 6 Zoll im Durchmesser stark und werden mit einer Handramme auf leichten Rüstungen eingetrieben. Bei geringer Wassertiefe darf man nur zwei Pfahlreihen anbringen (Fig. 143. *b*), bei der Tiefe von 6 Fufs sind deren aber drei erforderlich, damit zwei Reihen Faschinen eingelegt werden können (Fig. 144). Die Senkfaschinen werden in derselben Art gebunden, wie §. 32. beschrieben. Ihre geringere Stärke erlaubt es aber, sie ohne weitere Rüstung nur auf Unterlagen anzufertigen. Damit sie nicht weit transportirt werden dürfen, verbindet man sie meist auf Flössen, die neben den Pfahlreihen liegen, von diesen werden sie über die erste Pfahlreihe fort an ihre Stelle geworfen. Man mufs bei ihrem Versenken dahin sehn, dafs sie möglichst horizontal, oder vielmehr in der Richtung geneigt liegen, welche man für die Krone bestimmt hat. Aus diesem Grunde kann die untere Senkfaschine häufig nicht die ganze Länge des Schlickfanges erhalten. Man kann der Faschine aber auch am Ende eine geringere Stärke geben, damit die folgende gerade liegt und vor der ersten kein zu grofser Raum offen bleibt. Durch Nachstofsen überzeugt man sich leicht davon, dafs jede Faschine auf der vorhergehenden oder auf der Sohle des Flufsbettes fest aufliegt.

Bei entstehender Vertiefung sinken die Faschinen, da sie die erforderliche Belastung in sich enthalten, von selbst herab, dagegen können sie nicht die Oeffnungen neben dem Uferrande schliessen, da diese nicht unter ihnen, sondern seitwärts liegen. Letztere pflegen schon während des Baues sich zu bilden, und in Folge des Staues, welchen das Werk verursacht, vergröfsern sie sich leicht so sehr, dafs eine vollständige Trennung des Schlickfanges vom Ufer oder eine Hinterströmung zu besorgen ist. An der Wertach begegnete man dieser Gefahr dadurch, dafs man eine oder mehrere Senkfaschinen vor die oberste Pfahlreihe legte. Die Senkfaschine ist indessen so steif, dafs sie kleinere Höhlungen nicht ausfüllt, und am wenigsten darf man dieses auf dem unregelmäfsig gestalteten

Uferrande erwarten. Es dürfte daher zweckmäfsiger sein, hier Steinschüttungen anzubringen, wie solche in Figur 143. angegeben sind.

Gewöhnlich bestehn die Schlickfänge nur in Zäunungen, die aus Weidenreisern zusammengeflochten sind, sie heifsen alsdann Schlickzäune. Die Quantität des erforderlichen Materials ist dabei auf das Minimum reducirt und die Arbeit ist auch einfach und wenig zeitraubend, woher diese Constructionsart sich besonders wohlfeil herauszustellen pflegt. Nichts desto weniger besitzen die Flechtzäune eine grofse Steifigkeit und widerstehn daher einer mässigen Strömung. Ihre Wirksamkeit stimmt aber nicht ganz mit derjenigen der vorher beschriebnen Werke überein, denn sie bilden keineswegs eine dicht schliefsende Wand, vielmehr enthalten sie so viele Oeffnungen, dafs die Summe derselben etwa der Hälfte derjenigen Fläche gleichkommt, welche der Zaun im Ganzen einnimmt. Sonach verhindert der Zaun keineswegs das Durchströmen, hält vielmehr das Wasser nur etwas auf, ohne es bedeutend abzulenken. Hierin liegt gewifs der Grund, weshalb die Zäune weit regelmäfsigere Verlandungen verursachen, als andre Werke, und namentlich bemerkt man zur Seite derselben nicht die tiefen Rinnen, welche bei den Buhnen in Folge des Uebersturzes vorzukommen pflegen.

Die Anfertigung der Flechtzäune geschieht in der Art, dafs in Abständen von 6 bis 12 Zoll und bei starken Flechtruthen auch wohl in noch weiterer Entfernung Pfähle von 2 bis 3 Zoll Stärke mit einem hölzernen Schlägel oder mit einer leichten Handramme eingetrieben werden. Diese Pfähle müssen ziemlich gerade und ohne Aeste sein, damit die Reiser sich daran leicht herabschieben lassen. Am besten ist es, gespaltenes Nadelholz zu wählen, und man thut in diesem Falle wohl, die scharfen Kanten abzustumpfen, weil sie leicht zum Bruch der Flechtruthen Veranlassung geben, besonders wenn diese schon trocken sind. Die Pfähle werden so tief eingeschlagen, dafs sie fest stehn, gemeinhin genügt dazu eine Tiefe von etwa 1 Fufs. Die Höhe des Zaunes darf, wie schon bemerkt, nicht zu grofs angenommen werden. Ganz unpassend wäre es aber, den Zaun in einer bestimmten Höhe über dem Grunde in seiner ganzen Länge durchzuführen, wobei sein oberer Rand alle Ungleichheiten des Bodens darstellen und endlich einen steilen Ab-

satz bilden würde. Man muſs vielmehr nach den obigen Andeutungen diejenige Höhe ermitteln, bis zu welcher der Zaun am Kopf und der Wurzel heraufreichen soll, und ihn auf der Uferseite soweit fortsetzen, daſs er sich allmälig an den Boden anschlieſst und darin ausläuft.

Die Flechtruthen müssen aus hartem, wenigstens aus Kiefernholz bestehn, Weiden, Pappeln und dergleichen Holzarten pflegen, sobald der Zaun einige Zeit trocken gestanden hat, zu verrotten und zu brechen. Es ist aber keineswegs erforderlich, daſs die Ruthen besonders gerade oder von bestimmter Stärke sind, wenn sie sich nur zwischen den Pfählen gehörig einbringen lassen, auch darf man keine groſse Sorgfalt darauf verwenden, alle Nebenzweige abzuschneiden, vielmehr können dieselben, und besonders die schwächern, ohne Nachtheil mit eingeflochten werden. Je stärker aber die Flechtruthen sind, um so weiter dürfen die Zaunpfähle von einander entfernt sein. Das Flechten geschieht in der Art, daſs man die einzelne Ruthe abwechselnd von der einen und der andern Seite um die Pfähle legt, und jede folgende Ruthe wenigstens an zwei Pfählen mit dem Ende der vorhergehenden zusammentrifft, damit keine groſse Oeffnung im Stoſs sich bildet. Die darüber kommende Ruthe umfaſst jeden Pfahl von der andern Seite.

Bei ganz niedrigen Zäunen kann man die einzelnen Ruthen gleich bis zum Grunde herabdrücken, bei höhern würde dieses unbequem sein, selbst wenn der Zaun ganz im Trocknen stände, man flicht alsdann nahe unter den Pfahlköpfen ein etwa 6 Zoll breites Band und stöſst dieses mit der Hand oder dem Fuſs oder auch mit hölzernen Gabeln bis zum Grunde oder bis zu dem vorhergehenden Bande herab. Dieses Herabtreiben muſs aber ziemlich gleichmäſsig in der ganzen Länge des Zauns erfolgen, weil sonst das Flechtwerk stellenweise zu sehr ausgezogen und dadurch beschädigt würde. Am passendsten ist es, an den tiefsten Stellen zuerst das Ausflechten vorzunehmen, damit alle folgenden Bänder, wenn sie herabgestoſsen sind, möglichst parallel zum obern Rande des Zauns liegen. Wenn sich aber irgendwo Unregelmäſsigkeiten zeigen, so kann man die Breite des Bandes an diesen Stellen willkührlich verändern und dadurch die Ausgleichung bewirken.

Das beschriebne Verfahren findet nicht nur bei Zäunen Anwendung, die im Trocknen stehn, sondern es kann noch bei einer Was-

sertiefe von 4 und selbst 6 Fuſs beibehalten werden. Die Arbeiter befinden sich alsdann in Kähnen und stoſsen die Bänder mit hölzernen Gabeln herab. Einzelne weit vorstehende Pfahlköpfe werden endlich noch abgeschnitten, weil sie leicht vom Eise gefaſst werden könnten. Fig. 145. zeigt einen Flechtzaun dieser einfachsten Art.

Die Oeffnungen im Zaun zwischen den einzelnen Reisern werden durch das hindurchströmende Wasser nicht erweitert, sie sind daher ohne Nachtheil und nach der obigen Bemerkung sogar vortheilhaft. Anders verhält es sich mit den Oeffnungen, die zwischen den Flechtruthen und dem Grunde entweder gleich anfangs bleiben oder sich später bilden. Die Strömung ist daselbst zwar nicht so bedeutend, wie unter einer wasserdichten Wand, nichts desto weniger verursachen diese Durchströmungen doch jedesmal die Hauptbeschädigungen und oft die vollständige Zerstörung des Zauns. Wenn solche Oeffnungen sich nämlich nach und nach erweitern, so sinken die Flechtruthen darüber keineswegs von selbst herab, die Auskolkungen schlieſsen sich also nicht, sondern nehmen immer mehr zu, bis die Pfähle ausgespült werden und der Zaun stellenweise die Haltung verliert, und dann bald zerrissen und fortgetrieben wird. Am gröſsten ist diese Gefahr, wenn der Wasserstand eben die Höhe des Zauns erreicht, sie giebt sich alsdann aber auch durch das Aufwallen des Wassers unterhalb des Zauns zu erkennen, und man kann durch Vorschütten von Steinen sie oft noch rechtzeitig schlieſsen.

An denjenigen Stellen, wo ein solches Ausspülen des Grundes besonders zu besorgen ist, pflegt man auch sogleich, nachdem der Bau des Zauns beendigt worden, Steine oder Kies anzuschütten. Dieses geschieht entweder auf beiden Seiten, wie Fig. 146. im Profil zeigt, oder wenigstens auf der stromaufwärts gekehrten Seite. Demnächst stellt man die Flechtzäune in derselben Absicht zuweilen auch auf eine kreuzweise aufgeworfene Faschinenlage, wie in Fig. 147. in der Ansicht von oben dargestellt ist. Dabei darf jedoch die Steinschüttung wieder nicht fehlen. Dieses Verfahren ist aber nur bei geringer Wassertiefe anzuwenden. Bei gröſserer Tiefe wäre es freilich noch möglich, eine vollständige Senklage darzustellen, aber dadurch würde der Bau zu sehr vertheuert.

Sehr sicher läſst sich der Auskolkung unter dem Flechtzaun

vorbeugen und aufserdem die Festigkeit desselben noch wesentlich vermehren, wenn man, wie Fig. 148. zeigt, zwei solche Zäune im Abstande von 2 bis 3 Fufs erbaut, die Köpfe der Pfähle hin und wieder durch Bindweiden oder Draht verbindet und den Zwischenraum mit Steinen ausfüllt. Letztere sinken sogleich herab, wie eine Vertiefung sich zu bilden anfängt. Schon durch das Zusammenstellen zweier Flechtzäune, welche den Stau unter sich vertheilen, vermindert sich die erwähnte Gefahr, und es scheint, dafs zwei Zäune, von denen jeder nur weitläufig, also mit grofsen Zwischenräumen geflochten ist, schneller und sicherer Verlandung erzeugen, als ein einzelner, der an sich dichter ist. Bei einer Correction an der obern Weser sollten doppelte Flechtzäune mit Steinfüllung ausgeführt werden, bevor jedoch die letztere eingebracht werden konnte, trat Hochwasser ein, und nach Verlauf desselben war die beabsichtigte Verlandung bereits eingetreten.

Endlich müssen noch die niedrigen Flechtzäune erwähnt werden, die man in den Niederlanden sowol beim Packwerksbau, wie bei andrer Gelegenheit häufig anwendet. Wenn z. B. eine Kanal-Dossirung mit Rasen belegt wird, so bringt man solche Zäune in der Höhe des Wasserspiegels an und lehnt dagegen die Rasen, wodurch das Abbrechen und Abspülen derselben durch den Wellenschlag verhindert wird. Figur 149. ist die Seitenansicht dieses Zauns. Die Pfählchen werden im Abstande von 1 Fufs eingeschlagen und ragen etwa 8 Zoll über den Boden vor. Die Ruthen bestehn aus dünnen Weidenzweigen die $3\frac{1}{2}$ Fufs lang sind, so dafs sie jedesmal noch etwas über den vierten Pfahl herausreichen. Man bindet sie aber nicht einzeln, sondern immer zu dreien ein, und bei jedem einzelnen Pfahle legt man ein neues Bund an. Wenn man daher die Wipfel- und Stammenden mitzählt, so befinden sich an jedem Pfahle vier Bunde oder 12 einzelne Ruthen. Die Art des Flechtens ergiebt sich aus der Figur, in der man auch die Stammenden vortreten sieht. Die Höhe des Zauns mifst 6 Zoll.

Zuweilen wendet man auch andre Zäune als Schlickfänge an, die in ihrer Construction noch einfacher, aber auch weniger haltbar sind. Namentlich stellt man zuweilen die Reiser aufrecht neben einander mit den Stammenden in einen Graben, und wenn die wieder eingefüllte und angestampfte Erde nicht hinreichende Festigkeit dem Zaun giebt, so unterstützt man denselben an der

stromabwärts gekehrten Seite noch dadurch, dafs man in Abständen von 10 Fufs Pfählchen einschlägt und an dieselben Stangen bindet, gegen welche die einzelnen Reiser sich lehnen. Eine solche Anlage läfst sich aber nur im Trocknen ausführen.

Zuweilen stellt man die Reiser nicht senkrecht, sondern stromabwärts geneigt unter einem Winkel von 45 oder auch wohl nur von 30 Graden gegen den Horizont. Diese Art von Zäunungen, welche man Rauschen nennt, weichen einigermaafsen dem Strome und Eise aus, und wenn sie an sich auch wenig haltbar sind, so befördern sie doch zuweilen sehr merklich dis Verlandung, besonders auf flachen Ufern. Am Unterrhein im Preufsischen sind sie häufig mit grofsem Nutzeu angewendet. Man kann sie aber noch dadurch verstärken, dafs man über die Stammenden Würste nagelt und mehrere Reihen so nahe hinter einander stellt, dafs sie sich gegenseitig überdecken. In diesem Fall sind sie eigentlich nichts andres, als todte Rauhwehren.

Man stellt endlich auch durch verschiedenartige Constructionen aus stärkerem Holz Stromregulirungswerke dar, deren Zweck mit dem der Schlickfänge übereinstimmt. Hierher gehören schon die Bänke, deren bei Gelegenheit der Senkkasten (§. 31.) Erwähnung geschah. Eine eigenthümliche Anordnung, die häufig in Italien Anwendung findet, verdient noch beschrieben zu werden. Der Zimmermeister Magistrini zu Novara in Piemont hatte schon im Jahre 1827 am Sissone und an andern kleinen Flüssen den Uferabbrüchen dadurch Einhalt gethan, dafs er eine vollständige Verkleidung mit Holz anbrachte, die sich aber dadurch von Bohlwerken unterschied, dafs sie sehr flach geneigt und dabei ziemlich lose aufgestellt war. 1836 wurde ihm die Deckung der Ufer des Po unterhalb der Einmündung des Tessino anvertraut, und nach der Mittheilung des Ober-Ingenieur Mosca *) erbaute er bei dieser Gelegenheit nicht nur Uferdeckwerke, sondern nach demselben System auch declinante Buhnen. Der Erfolg soll sehr günstig gewesen sein, wobei man aber nicht unbeachtet lassen darf, dafs die frühern Methoden hier wohl höchst unvollkommen waren. Fig. 150. zeigt das Profil des Werks. Leichte Böcke, die in den Boden eingestossen werden, sind auf der Stromseite mit Dielen benagelt, und das

*) *Annales des ponts et chaussées* 1840. *I. p.* 37.

auf diese Art künstlich dargestellte Ufer besteht aus zwei Flächen. Die untere, nur schwach geneigte, schliefst sich an die Sohle des Bettes an und ist ziemlich dicht. Sie erhebt sich nur bis zum niedrigen Wasserstande. Die obere sehr steile ragt über das höchste Wasser heraus. In der letztern schliefsen die Dielen nicht dicht an einander, es dringt daher nicht nur das Wasser mit Leichtigkeit hindurch, sondern auch Sand und Kies treiben in den äufsern Raum, woher eine starke Verlandung daselbst eintreten soll. Der untre Boden wird mittelst besonderer Vorrichtungen unter Wasser aufgenagelt. Nach spätern Nachrichten hat dieselbe Bauart auch an den Ufern des Arno in Toscana Eingang gefunden und soll auch hier sehr günstige Resultate gezeigt haben.

§. 39.

Pflanzungen.

Für die regelmäfsige und vollständige Ausbildung der Ufer ist aufser den Hauptwerken und Schlickfängen die Anpflanzung von Strauch noch sehr wichtig, und unter gewissen Verhältnissen sogar unentbehrlich. Die Aeste und Zweige des Gebüsches hemmen die Bewegung des Wassers so sehr, dafs nicht nur die schweren Massen, die vom Strom auf dem Boden fortgerollt und fortgestofsen werden, liegen bleiben, sondern aufserdem sinken auch die feinern Stoffe nieder, welche im Wasser schweben, und diese bilden eine fruchtbare Erdschicht, worauf später eine andre Benutzungsart des gewonnenen Bodens möglich wird. Unter Umständen kann der Ertrag des Strauchholzes vortheilhafter sein, als der des Graswuchses. Die Ergiebigkeit des erstern vermindert sich aber mit der zunehmenden Erhöhung des Bodens, und hört endlich beinahe ganz auf. Alsdann ist die Fläche zur Benutzung als Wiese reif geworden, und wenn sie in Folge der gehörigen Regulirung des Stroms beim Hochwasser zwar der Ueberfluthung, aber keiner besonders heftigen Ueberströmung ausgesetzt ist, so wird sie nicht ferner mit Sand, wohl aber nach jeder Fluth mit einer dünnen Lage fruchtbarer Erde überdeckt, die ähnlich einer künstlichen Düngung einen reichen Grasertrag veranlafst. In dieser Weise darf man es nicht

als Verlust ansehn, wenn ausgedehnte Pflanzungen zur Seite des Stroms, oder in alten Flufsarmen nach und nach verschwinden, sie sind vielmehr nur das Mittel, wodurch der eigentliche Zweck, nämlich die Ausbildung der Wiesenfläche erreicht wird. Sie gewähren aber den grofsen Vortheil, dafs sie schon während dieser Uebergangsperiode einen reichen Ertrag geben.

Demnächst sind die Pflanzungen auch in sofern nützlich, als der Boden durch ihre Wurzeln befestigt wird, so dafs er einer heftigen Strömung und selbst dem Wellenschlage kräftig widersteht. Diesen günstigen Einfluſs äufsern die Pflanzungen aber nicht nur auf horizontale Flächen, sondern selbst auf ziemlich steile Böschungen, und sind deshalb zur Erhaltung der Ufer vor sandigen Wiesen überaus wichtig.

In der letzten Beziehung ist über die Pflanzungen wenig zu sagen. Man mufs die Uferränder regelmäfsig abgraben und flach dossiren, so dafs sie eine dreifache oder mindestens eine zweifache Anlage erhalten. Hierauf werden sie durch eine Spreitlage oder Rauhwehr gedeckt, welche gleich Anfangs das Abspülen der Erde verhindert und sich später in eine vollständige Uferpflanzung verwandelt. Wenn der Angriff des Stroms oder Wellenschlags stärker ist, so kann man das Strauchbett noch durch eine mäfsige Beschüttung mit grobem Kies oder mit Ziegelbrocken sichern, durch welche die Zweige hindurchwachsen, während das Ausspülen des lockern Bodens verhindert wird. Bei noch heftigerm Angriff bedeckt man die Dossirung oberhalb des gehörig befestigten Fufses mit Pflanzreisern und packt die Zwischenräume sorgfältig mit groben Ziegelbrocken oder Geschieben aus. Wenn aber ein heftiger Strom das Ufer trifft oder eine frequente Dampfschiffahrt davor stattfindet, so zeigen sich alle diese Mittel als ungenügend, und es bleibt nur übrig, die Pflanzung aufzugeben, und das Ufer durch ein vollständiges Steinrevetement zu schützen. In dieser Beziehung hat die Einführung der Dampfschiffahrt auf manchen Strömen zu traurigen Erfolgen Veranlassung gegeben. Während früher die Ufer solcher Ströme durch Bepflanzung vollständig geschützt waren, und man sich bemühte, in gleicher Weise durchweg den unregelmäfsigen Abbrüchen und dadurch dem Entstehn neuer Schiffahrtshindernisse vorzubeugen, so zeigte der Wellenschlag der Dampfschiffe bald eine so verheerende Wirkung, dafs die bisherigen Uferdeckungen

einstürzten und die Pflanzungen ausgewaschen wurden. Namentlich geschieht dieses, wenn der Boden aus leichtem Material besteht.

Bei Anlage der Pflanzungen im frühern Flufsbett, oder auf niedrigen Flächen zur Seite desselben sind manche Umstände zu berücksichtigen. Zunächst entsteht die Frage, in welcher Höhe gepflanzt werden soll. Zum Theil hängt dieses von der Wahl des Strauchs ab, doch beschränkt man sich in solchen Fällen wohl ausschliefslich auf die Weiden-Cultur, und wenn gleich einige Weiden-Arten mehr Dürre, andre mehr Nässe ertragen können, so gilt hierbei doch immer die Regel, dafs die zu bepflanzende Fläche nicht unter dem gewöhnlichen Wasserstande liegen darf, während die Wurzeln des Strauchs selbst beim kleinsten Wasserstande bis in den feuchten Boden oder in das Grundwasser herabreichen müssen. Aufserhalb dieser Grenzen ist das Gedeihen der Pflanzung sehr zweifelhaft, obwohl es unter günstigen Umständen dennoch zuweilen erfolgt. Sehr hohe Wasserstände verursachen aber selbst innerhalb jener Grenzen oft das Absterben der Pflänzlinge, besonders wenn diese noch jung sind. Namentlich geschieht es nicht selten, dafs ein anhaltend hohes Wasser im Frühjahr die vor Kurzem angelegten Pflanzungen vollständig zerstört. Zufälligkeiten dieser Art lassen sich nicht vermeiden, wie solche überhaupt in allen Theilen des Strom- und Ufer-Baues vorkommen.

Eine andre noch wichtigere Rücksicht bezieht sich darauf, dafs die Pflanzungen nur mit gehöriger Beachtung der Bodenverhältnisse ausgeführt werden dürfen, und besonders ist zu berücksichtigen, dafs sie nicht etwa eine Stromspaltung veranlassen, oder einzelne tiefe Stellen für den Sand oder Kies unzugänglich machen, weil in diesem Fall die beabsichtigte gleichmäfsige Erhöhung und regelmäfsige Ausbildung der Ufer unmöglich wird. Es ist durchaus unstatthaft, jeden Sand- oder Kiesrücken zu bepflanzen, der bei kleinem Wasser trocken wird. Die Ablagerung des Materials, die daselbst eingetreten ist, zeigt, dafs unter den bestehenden Verhältnissen gerade hier vorzugsweise die Tendenz zur Erhöhung vorhanden ist, und wenn man dieser noch künstlich zu Hülfe kommt, so bildet man grofse Erhebungen, welche die Regelmäfsigkeit der Strömung stören und leicht eine vollständige Inselbildung veranlassen. Ganz besonders gilt dieses von den Sand-Ablagerungen auf und neben den Buhnenköpfen, deren Bepflanzung sehr häufig den Durch-

bruch der Buhnen verursacht. Man muſs jede Pflanzung im Strombett an das feste Ufer anschlieſsen. Aufserdem aber darf man auch nie vergessen, daſs nur ein starker und frischer Strom das Material herbeiführen kann, wodurch die tiefen Stellen erhöht werden. Die Pflanzungen müssen daher so angeordnet werden, daſs ein ziemlich gerader und gehörig geöffneter Weg dem Hochwasser einen ungehinderten Zutritt zu den noch nicht hinreichend aufgewachsenen Stellen gewährt, und das Wasser auch leicht von hier wieder abflieſsen kann. Entgegengesetzten Falls würde die Strömung bei jedem Hochwasser auf die einmalige Anfüllung beschränkt bleiben, wovon keine merkliche Wirkung zu erwarten wäre. Ich habe in mehreren Fällen, wo die Pflanzungen ohne Rücksicht hierauf vorgenommen waren, weite Wege durch dieselben öffnen, und selbst flache Kanäle durch die höchsten Kiesrücken ausgraben lassen, und die Erfolge haben dieses Verfahren immer gerechtfertigt. Von wesentlichem Nutzen sind dabei aber noch leichte und niedrige Coupirungen, Flechtzäune u. dergl., welche die Strömungen an denjenigen Stellen möglichst mäſsigen, wo gerade die stärksten Ablagerungen noch erforderlich sind.

Die Ausführung der Pflanzungen betreffend, so beschränke ich mich allein auf einige Bemerkungen über die Weiden-Cultur. Andre Holzarten, wie Pappeln, Ellern u. dgl. können unter Umständen zwar auch mit Vortheil zur Befestigung der Ufer und zur Beförderung der Verlandung benutzt werden, das Weidengebüsch leidet aber bei an anhaltenden Ueberfluthungen am wenigsten und läſst sich am leichtesten pflanzen, während es aufserdem bei gehöriger Wartung durch die langen Triebe, die jährlich anwachsen, eine grofse Quantität Material für den Faschinenbau und für neue Pflanzungen liefert. Für den Wasserbau ist daher vorzugsweise die Weiden-Cultur von Wichtigkeit.

Unter den verschiedenen Weidenarten sind einzelne für den vorliegenden Zweck mehr geeignet, als andre. Man wird vorzugsweise solche wählen, die leicht anwachsen, sich schnell ausbreiten und brauchbares Strauchmaterial, so wie auch Bindweiden und Pflänzlinge reichlich liefern. Die Korbweide (*Salix viminalis*), die rothe Uferweide (*Salix purpurea*), auch die Bachweide (*Salix helix*) werden besonders für Uferpflanzungen empfohlen, und sind auch sehr brauchbar, wiewohl alle übrigen Weidenarten, wenn man jene

nicht erhalten kann, zum Theil die beabsichtigten Zwecke gleichfalls erfüllen und daher unter Umständen mit Vortheil gewählt werden dürfen.

Das Anpflanzen geschieht durch Stecklinge. Dieses sind Zweige von 6 bis 9 Linien Stärke und von 18 bis 30 Zoll Länge. Die längern Stecklinge mufs man wählen, wenn das zu bepflanzende Sandfeld noch tief liegt, die kürzern genügen, wenn es schon höher aufgewachsen ist. Sie müssen nicht nur aus kräftigem jungen Holz bestehn, sondern auch frisch geschnitten sein. Die Seitenzweige werden davon entfernt, und beide Enden glatt abgeschnitten. Kann man dieselben nicht gleich einsetzen, so müssen sie mit dem Stammende ins Wasser gelegt, oder in nasse Erde eingegraben werden, doch ist es unter allen Umständen nöthig, dafs sie nicht länger, als etwa eine Woche nach dem Abschneiden aufbewahrt werden, und in heifser Jahreszeit pflegen sie selbst alsdann nicht mehr zu gedeihen. Die Pflänzlinge müssen mit dem gröfsten Theil ihrer Länge in den Boden gesteckt werden, so dafs sie oft nur 4 bis 6 Zoll darüber vorragen. Man stellt sie in eine Vertiefung, die entweder ein Graben oder ein rundes Loch ist, aus der aber die Erde entfernt sein mufs, weil letztere nur in diesem Falle sich schichtenweise einbringen und feststampfen läfst. Bei sehr nassem Boden, wo der Sand nämlich leicht nachfällt, genügt es, mit einem Pflanzeisen die Löcher einzustofsen und die Reiser einzusetzen, bei Triebsand aber und in weichem Schlamm kann man, ohne die Löcher vorher darzustellen, die Reiser unmittelbar in den Boden stofsen.

Am vortheilhaftesten ist es, die Stecklinge einzeln zu versetzen, wodurch die ganze Fläche möglichst gleichmäfsig bepflanzt wird. Dieses ist jedoch mühsam, wenn man nicht das Setzeisen anwenden kann. In diesem Falle pflegt man die Stecklinge im Abstande von 1 Fufs von einander zu stellen, sie bilden alsdann in drei Richtungen Reihen, die sich unter Winkeln von 60 Graden schneiden.

In festerem Boden darf das Setzeisen nicht mehr benutzt werden, weil das mit demselben geöffnete Loch nicht gehörig verschüttet werden kann, also das darin befindliche Reis nicht mit Sand oder Erde umgeben ist. Man mufs alsdann den Spaten gebrauchen, doch darf dabei der Boden nicht zu sehr aufgelockert

werden, damit das Hochwasser ihn nicht fortspült. Wählt man Reihen-Pflanzungen, so müssen die Reihen normal gegen die darüber tretende Strömung gerichtet sein, weil sich sonst vertiefte Rinnen dazwischen bilden. Sie verursachen bei der Ueberfluthung jedesmal einen geringen Stau und werden deshalb oft Rauschen genannt. Man giebt diesen Namen aber nicht nur den lebendigen Weidenpflanzungen, sondern bezeichnet damit auch die in ähnlicher Weise angelegten trocknen Hecken oder Zäune zur Seite des Strombetts, welche gleichfalls die Erhöhung des Bodens zum Zweck haben. Jene Reihen von Stecklingen pflegen 6 bis 8 Fufs von einander entfernt zu sein. Für jede Reihe wird ein gehörig tiefer und möglichst schmaler Graben ausgehoben, in welchen man die Stecklinge neben einander stellt, so dafs zwischen je zweien ein freier Zwischenraum von 1 bis 2 Zoll bleibt. Dieselben lehnen sich dabei gegen die eine Grabenwand, und indem die Erde hierauf wieder eingefüllt wird, mufs dieselbe schichtenweise fest angetreten werden. Die Arbeit wird etwas erleichtert, wenn beim Ausheben des einen Grabens die gewonnene Erde sogleich zur Anfüllung des nächst vorhergehenden benutzt wird, in welchen die Reiser bereits eingestellt sind.

Die Nesterpflanzung, auch Kesselpflanzung genannt, unterscheidet sich von der Reihenpflanzung dadurch, dafs die Stecklinge nicht in geraden Reihen, sondern kreisförmig eingesetzt werden. Man gräbt nämlich Löcher in der erforderlichen Tiefe und möglichst steil aus, die oben 2½ bis 3 Fufs Durchmesser haben. In dieselben steckt man die Stecklinge so, dafs sie sich rings an die Wände des Lochs lehnen. Gewöhnlich rechnet man auf ein Nest ein halbes Schock Stecklinge. Alsdann wird die Erde wieder eingeworfen und schichtenweise angestampft. Die Entfernung der Kessel von einander beträgt von Mitte zu Mitte in jeder Richtung 6 bis 10 Fufs, und auch hierbei wird die Erdarbeit dadurch erleichtert, dafs man beim Ausgraben eines Kessels die Erde oder den Sand in den nächst vorhergehenden wirft.

Endlich mufs noch eines sehr einfachen Verfahrens erwähnt werden, wodurch man im Preufsischen Antheil des Rheins die bereits angewachsnen Pflanzungen auf den davor liegenden Alluvionen weiter ausdehnt. Die Reiser werden nämlich nicht abgeschnitten, sondern nur umgebogen und flach auf die noch kahlen Flächen

gelegt, durch eine darüber genagelte Wurst festgehalten und mit Sand überworfen. Sie treiben alsdann bald sowol neue Triebe wie auch Wurzeln, und die ganze Pflanzung verbreitet sich etwa um 4 Fufs, während ein Mifsglücken dieses Verfahrens kaum denkbar ist, und anhaltende Dürre keinen nachtheiligen Einfluſs darauf hat.

Von grofser Wichtigkeit ist die Frage, in welcher Jahreszeit die Pflanzungen am passendsten auszuführen sind. Jedenfalls kann während der Dauer des Hochwassers diese Arbeit ebenso wenig vorgenommen werden, wie im Winter, wenn der Boden gefroren ist. Aber auch im Sommer sind diese Reiser, so lange sie noch nicht Wurzeln geschlagen haben, zu sehr der Gefahr des Vertrocknens ausgesetzt. Man muſs daher eine Jahreszeit wählen, in welcher man einige Monate hindurch weder Hochwasser, noch Dürre, noch auch strengen Frost erwarten darf, da auch bei letzterem das Reis, so lange es noch nicht Wurzeln geschlagen hat, abstirbt. Hiernach pflegen die Pflanzungen am sichersten anzuwachsen, wenn sie im Frühjahr oder Herbst, also Anfang April oder Ende October ausgeführt werden. Die Frühjahrspflanzungen hält man im Allgemeinen für besser, besonders wenn sie so früh vorgenommen werden, daſs das Strauch noch nicht belaubt ist. Dagegen muſs man auch häufig die Herbstpflanzungen wählen, weil alsdann der günstigste Wasserstand einzutreten pflegt, auch die Arbeitskräfte in dieser Zeit am leichtesten zu beschaffen sind. Aufserdem hat man dabei noch den Vortheil, daſs die junge Pflanzung schon beim nächsten Frühjahrs-Hochwasser vortheilhaft wirkt, doch ist sie auch der Gefahr ausgesetzt bei höherem Winterwasser einzufrieren, und wenn die Scholle bei verstärktem Zufluſs sich hebt, von dieser ausgerissen zu werden. In solcher Weise werden nicht selten ausgedehnte Pflanzungen, die noch nicht kräftige Wurzeln geschlagen hatten, aus dem Boden gehoben und verschwinden spurlos. Bei dringender Veranlassung darf man sich an keine Zeit binden. Die Gefahr des Mifsglückens ist freilich um so gröfser, je weiter man sich von den passendsten Zeitpunkten entfernt, aber es fehlt keineswegs an Beispielen, daſs frische Stecklinge zu allen Jahreszeiten und selbst mitten im Sommer Wurzeln schlagen und kräftige Pflanzungen bilden.

Auf die gehörige Unterhaltung der Pflanzungen muſs man in mancher Beziehung grofse Aufmerksamkeit verwenden. Vor

Allem ist es nothwendig, den Zutritt des Viehes abzuhalten, weil dieses in kurzer Zeit die besten Pflanzungen zerstört. Für eine hinreichend sichre Einfriedigung und Beaufsichtigung mufs daher gesorgt werden. Demnächst pflegen in den Waarden oder Weidenpflanzungen auch vielfache Beraubungen durch die Korbmacher einzutreten, und dieses um so leichter, als die Nähe des Stroms bequeme Gelegenheit bietet, das gestohlne Gut fortzuschaffen und zugleich die Diebe der Verfolgung zu entziehn. Die Anstellung einer gehörigen Anzahl zuverlässiger Buschwärter, die besonders in der Nacht häufig die Waarden besuchen, kann allein einem solchen Unfuge steuern. Es ist aber vortheilhaft, wenn die Commune oder Behörde, welche die Pflanzungen ausgeführt hat, den Korbmachern in der Nähe den nöthigen Bedarf überläfst, um sie nicht wegen gänzlichen Mangels an Material zum Diebstahl zu zwingen, wobei die Verwüstungen der Pflanzung immer sehr grofs zu sein pflegen. Auch die Gewinnung des Grases, welches in solchen Pflanzungen stellenweise vorkommt, ist häufig für dieselben sehr nachtheilig. Wenn es sich in gröfserer Masse zeigt, so kann es freilich ohne Schaden gemäht werden, aber derjenige, der die Grasnutzung hat, vermehrt leicht den Ertrag derselben zum Nachtheil der Pflanzung, und es ist sonach nicht als Härte zu bezeichnen, wenn jede Grasnutzung in den Pflanzungen vollständig verboten und als Holzfrevel bestraft wird.

In sofern die Erhöhung des Bodens durch gleichmäfsigen Niederschlag des Sandes und Schlammes den Hauptzweck der Pflanzung bildet, mufs man besonders dafür sorgen, dafs unmittelbar über dem Boden das Fluthwasser vielfache Hindernisse findet, und keine starke Strömung sich daselbst bildet. Die Pflanzung darf sich daher nicht in hochstämmige Bäume verwandeln, sondern mufs immer niedriges Strauch bleiben. Wenn auch im ersten Fall der Ertrag an Holz gröfser ist, so darf hierauf kein Gewicht gelegt werden, weil dadurch der eigentliche Zweck verfehlt wird. Im Rheingau gab es Pflanzungen, wo die ziemlich entfernt stehenden Weidenstämme nur belaubte Kronen hatten, während etwa 8 Fufs hoch über dem Boden kein frischer Trieb sich zeigte, und daher ein starker Strom bei jedem Hochwasser sich wieder einstellte, der auch in den tiefen Wasserschlenken, die vielfach vorkamen, unverkennbare Spuren zurückliefs. Der Boden war durch das dichte

Laubholz dem Zutritt der Sonne und der Luft entzogen, und blieb daher von jeder Vegetation entblöfst. Die kalte und feuchte Luft, die sich über dem Moder-Grunde bildete, gab sich nicht nur beim Eintreten in diesen Wald sehr unangenehm zu erkennen, sondern verbreitete sich bei gewissen Winden auch über die Nachbarschaft, und die vielfachen Krankheitsfälle, namentlich die kalten Fieber, zogen schon die Aufmerksamkeit der Landesregierung in gesundheitspolizeilicher Hinsicht auf sich. Dieser Uebelstand war allein dadurch hervorgerufen, dafs die Pflanzung nicht den Boden bedeckte, und sonach die beabsichtigte Ausbildung der Ufer verhinderte, während Stromregulirungen sonst gerade im Gegentheil die Sümpfe beseitigen und die Umgebungen gesunder machen.

Wenn die Pflanzung sich indessen auch nicht in einen solchen hochstämmigen Wald verwandelt und vielmehr sich selbst überlassen immer Gebüsch bleibt, so gestaltet sie sich mit der Zeit doch so unregelmäfsig, dafs sie ihren Zweck gleichfalls verfehlt. An der Weser, zwischen Bremen und Vegesack, gab es vor 1835 manche Pflanzungen dieser Art, die seit einigen zwanzig Jahren vernachlässigt, und vielleicht selten betreten waren, da man kaum das hohe Gebüsch durchdringen konnte. Man sah daselbst eine grofse Anzahl alter Weidenstämme auf dem Boden liegen, welche wahrscheinlich durch das Eis umgeworfen waren, die aber mit ihren Zweigen aufs Neue gewurzelt hatten. Andre Stellen waren in grosser Ausdehnung ganz entblöfst. Eine Grasnarbe hatte sich aber auch hier nicht ausgebildet, vielmehr wucherten Nesseln und die verschiedensten wild wachsenden Pflanzen in ungewöhnlicher Gröfse und Ueppigkeit auf dem fruchtbaren Boden. Dagegen hatte die Strömung des Hochwassers tiefe Einrisse und zusammenhängende Wasserzüge gebildet, welche selbst bei niedrigem Wasserstande stellenweise nicht trocken wurden, und die Besorgnifs erweckten, dafs sie sich zu vollständigen Seitenarmen umgestalten könnten, wenn sie noch ferner sich selbst überlassen blieben.

Um Unordnungen dieser Art vorzubeugen, mufs man von Zeit zu Zeit, und zwar so oft das Strauch die für Faschinenholz erforderliche Länge und Stärke erreicht hat, die ganze Pflanzung dicht über dem Boden abtreiben. Wo sich Blöfsen zeigen, müssen Nachpflanzungen vorgenommen werden, entstandene Einrisse werden durch Zäune oder durch Dämme geschlossen und unter Um-

ständen werden sogar die höchsten Stellen abgegraben und planirt. Diese Zwecke lassen sich nicht erreichen, wenn man die Abholzung nicht vollständig vornimmt, sondern nur das brauchbare Holz aussucht. Dieses Verfahren ist daher nicht zu billigen, es stellt sich auch als das theurere heraus, weil das Ausschneiden dabei mühsamer wird. Nur wenn Schiffsleinen über die Pflanzung hingezogen werden, welche an den kurz abgeschnittnen Stämmen hängen bleiben, mufs man einzelne Bündel hoher und schlanker Triebe stehn lassen, welche sich unter der Leine niederlegen und dieselbe in einiger Höhe über dem Boden soweit fortführen, bis sie vom nächsten Bündel gefafst wird.

Je häufiger die Pflanzung abgetrieben wird, um so kräftiger bleibt sie. In vielen Fällen erfolgt daher das Abholzen schon in der Periode von zwei Jahren. Will man jedoch stärkeres Holz gewinnen, so läfst man dasselbe länger wachsen, doch nach drei und spätestens nach vier Jahren mufs der Schlag erfolgen, weil sonst die Pflanzung leidet. Die beste Jahreszeit für das Schneiden des Holzes ist das erste Frühjahr, und zwar vor dem Aufbrechen der Knospen. Wenn man aber das Holz erst im Herbst gebraucht, so kann es auch im October gehauen werden. Während der Sommermonate ist es für die Pflanzung schädlich.

Wenn die Weiden-Cultur endlich ihren Zweck erfüllt und den Boden bis zur Höhe des Wiesengrundes erhöht hat, so pflegt die fernere Erhöhung nur noch sehr langsam zu erfolgen und der kräftige Wuchs des Weidengebüsches hört theils aus diesem Grunde, theils auch wegen der zunehmenden Trockenheit auf. An einzelnen Stellen stirbt das Strauch ab, und bei gehöriger Wartung findet sich daselbst ein gesunder Rasen ein, den man durch Entfernung des Weidengebüsches, indem man dasselbe vollständig ausrodet, nach und nach über die ganze Fläche verbreitet, womit die Ausbildung der Ufer beendigt ist.

§. 40.
Strom-Durchstiche.

Der Zweck der Durchstiche und die verschiedenartigen Wirkungen derselben sind schon früher nachgewiesen. Die Durchstiche pflegen auf die Beförderung der Vorfluth sehr günstig zu wirken (Theil I. §. 25.), wogegen sie die Schiffahrt leicht beeinträchtigen und in Bezug auf die Uferdeckung und den Landgewinn nicht immer den Vortheil gewähren, den man gewöhnlich von ihnen erwartet (Theil II. §. 20.). Es ergiebt sich hieraus, in welcher Weise die Untersuchungen anzustellen sind, welche der Aufstellung der Projecte zu Strom-Durchstichen vorangehn müssen, und es bleibt vorzugsweise nur übrig, von ihrer Anordnung und Ausführung zu sprechen.

Bei der Anlage eines Durchstichs beabsichtigt man jedesmal, dafs derselbe sich zum Hauptarm, und gewöhnlich sogar, dafs er sich zum ungetheilten Stromlauf ausbilden soll. Seine Richtung ist daher so zu wählen, dafs in dem neuen Strombett nicht nur scharfe Krümmungen vermieden werden, sondern dasselbe sich auch in der obern und untern Mündung an die nächstliegenden Stromstrecken gehörig anschliefst.

Ferner mufs der Durchstich, wenn er sich selbst ausbilden, und nur durch die Strömung verbreitert und vertieft werden soll, ein bedeutend stärkeres relatives Gefälle als der alte Arm haben. Entgegengesetzten Falls würde in seinem ursprünglich noch beschränkten Profil diejenige Geschwindigkeit und Strömung sich nicht einstellen, welche zur Erweiterung des neuen Bettes erforderlich ist. Es folgt hieraus, dafs der neue Lauf bedeutend kürzer sein mufs, als der alte. Welches Verhältnifs zwischen beiden Längen mindestens stattfinden mufs, läfst sich nicht bestimmt bezeichnen, aber je mehr es sich der Gleichheit nähert, um so ungewisser wird der Erfolg und um so weiter mufs die Ausgrabung oder Baggerung getrieben werden. Eine baldige und sichere Vertiefung und Verbreitung des neuen Bettes darf man nur erwarten, wenn die Länge desselben unter der halben Länge des alten Stromlaufs bleibt.

Die erwähnten Rücksichten gelten eben sowohl für den Fall, wenn der Durchstich einfach ist, d. h. wenn er nur eine Stromkrümme abschneidet, als wenn er doppelt oder zusammengesetzt ist und er zwei entgegengesetzte Serpentinen oder mehrere durchschneidet. Fig. 151. auf Taf. XVIII. zeigt einen einfachen Durchstich, Fig. 152. und 153. doppelte, und in Fig. 154. findet sich bei No. 14., 15. und 16. das Beispiel eines dreifachen Durchstichs, der zweimal das alte Strombett kreuzt. Die Ausgrabung der zusammengesetzten Durchstiche läfst sich zuweilen dadurch etwas erleichtern, dafs man zwischenliegende Theile des Strombetts benutzt, worin aber die Richtung der Strömung verändert wird, weil entgegengesetzten Falls der Durchstich kein zusammengesetzter wäre, sondern aus zwei einfachen bestände. Fig. 153. zeigt ein Beispiel dieser Art.

Indem manche Deutsche Wasserbaumeister auf die Ansichten Amerikanischer Ingenieure besonderes Gewicht legen, so wird es für sie nicht ohne Interesse sein, zu erfahren, in welcher Weise der Ober-Ingenieur im Staate Louisiana, M. Jeff. Thompson, sich über den Erfolg der Durchstiche äufsert. Um den Verwüstungen vorzubeugen, welche bei Anschwellungen des Missisippi in Louisiana sich so häufig wiederholten, wurde beschlossen, den Strom zu beiden Seiten einzudeichen Nach den vorhergehenden Untersuchungen handelte es sich darum, 15 Millionen Cubik-Yard oder nahe 3 Millionen Schachtruthen Erde zu den Deichen zu verwenden. Hieran ist seit mehreren Jahren gearbeitet und 1871 leitete der benannte Ingenieur die Ausführung. An manchen Durchbrüchen dieser neuen Deiche hat es nicht gefehlt. Von Stromregulirung und Befestigung der Ufer, wodurch die Deiche allein gesichert werden konnten, war nicht die Rede. Thompson meint, dafs die hierzu dienenden Werke stets an der Wurzel durchbrochen werden, und alsdann nicht nur ihren Zweck verfehlen, sondern aufserdem noch Steinriffe im Strombett bilden, was bei schlechter Ausführung in der That zu geschehn pflegt. Dabei wurden anfänglich auch manche Durchstiche besonders bei scharfen Krümmungen des Stromlaufs ausgeführt, um für die Deiche passendere und kürzere Linien zu gewinnen. Da man jedoch, wie erwähnt, für die Befestigung der Ufer nichts that, so griff der Strom sowol oberhalb wie unterhalb der Durchstiche die Ufer sehr stark an, und die neuen

Deiche versanken mit den dahinter liegenden Plantagen und Gehöften im Strom.

Sowol in dem Jahresbericht an die General-Versammlung von Louisiana für das Jahr 1871, wie auch in einem Vortrage in der Academie der Wissenschaften in New-Orleans (gehalten am 16. Januar 1872), sagt Thompson, dafs alle Durchstiche ihren Zweck verfehlen, da die Natur jedem Flufs oder Strom eine bestimmte Länge zugewiesen hat. Vermindert man diese durch Abkürzung einer Strecke, so verlängert sich durch neue Serpentinen eine andre, bis jene Länge wieder hergestellt ist. Durch Durchstiche reizt man also nur den Strom zu neuen Uferbrüchen. Der Beweis dieser Behauptung wird durch zwei verschiedne Erfahrungen geführt. Vielfach hatte Thompson das Wasser aus Sümpfen durch Gräben abgeleitet, die in gerader Linie gezogen waren. Es traten jedesmal bald hier bald dort Uferbrüche ein und der Graben bildete Serpentinen, der Lauf verlängerte sich also, doch wurde die Länge endlich constant und vergröfserte sich nicht mehr. Den andern Beweis hat der Missisippi selbst geliefert. Der Stromlauf ist durch Durchstiche (vielleicht auch durch die von selbst erfolgten Durchbrüche der Serpertinen) seit Eröffnung der Dampfschiffahrt um 150 Englische oder 32 Deutsche Meilen abgekürzt, und dennoch ist er jetzt wieder eben so lang, wie er früher war. Letzteres haben nämlich die darüber befragten Schiffer Herrn Thompson versichert.

Indem es wohl entbehrlich ist, diese Ansicht näher zu beurtheilen, so ergiebt sich doch aus Vorstehendem, dafs Durchstiche nicht ohne sorgfältige Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse zur Ausführung gebracht werden dürfen, dafs auch manche Vorbereitungen und Nebenarbeiten dabei nothwendig sind, und dafs man endlich bis zu ihrer vollständigen Ausbildung bald hier, bald dort ein Ufer decken, oder auch wohl den Abbruch desselben künstlich befördern mufs. Bei solcher vorsichtigen Behandlung darf man indessen nicht besorgen, dafs Verwüstungen, ähnlich denjenigen, die am Missisippi vorgekommen, eintreten werden. Nichts desto weniger darf nicht unerwähnt bleiben, dafs es nicht unbedenklich ist, einem grofsen Strom, auf welchem frequente Schiffahrt stattfindet, einen neuen Lauf anzuweisen. Die Gefahr besteht aber nicht darin, dafs er anderweit seine Ufer um so heftiger angreifen wird, denn hiergegen mufs man die nächstbelegnen Ufer schützen, und auf die

entfernteren hat der Durchstich keinen Einfluſs. Es tritt vielmehr das Bedenken ein, daſs während der Uebergangs-Periode, also bis der neue Arm sich vollständig ausgebildet, auch das oberhalb belegne Strombett sich vertieft hat, oder durch künstliche Arbeiten hinreichend vertieft ist, die Schiffahrt vollständig unterbrochen oder wesentlich erschwert wird. Dazu kommt noch, daſs der Durchstich meist im Inundations-Gebiet liegt, über welches das Hochwasser sonst seinen Abfluſs fand, daſs aber während der Ausgrabung der neue Canal wasserfrei geschlossen werden muſs, weil sonst das über die noch nicht in Verbindung stehenden Gruben sich ergieſsende Wasser dieselben mit Erde füllen und die Regelmäſsigkeit der Arbeit stören würde. Der wasserfreie Abschluſs eines Theils des Fluthgebiets, und zwar gerade desjenigen, wo wegen des stärksten relativen Gefälles schon bisher groſse Wassermassen abgeführt wurden, belastet aber den alten Stromlauf, und derselbe kann deshalb leicht während dieser Zeit bedeutend höher anschwellen, als sonst geschehn.

Diese Rücksichten veranlaſsten mich, auf die an mich ergangene Anfrage und nachdem ich die Local-Verhältnisse näher untersucht hatte, mich gegen den bei Wien projectirten Durchstich der Donau auszusprechen. *) Die 2160 Ruthen lange Stromstrecke, die man verlassen wollte, befindet sich freilich in sehr schlechtem Zustande, und in ihr liegen, namentlich in der untern Hälfte, vielfache Spaltungen, welche die Bildung eines regelmäſsigen Fahrwassers verhindern, aber diese, wie auch besonders scharfe Krümmungen an einzelnen Stellen und übermäſsige Breiten lieſsen sich wohl durch gewöhnliche Strom-Correction beseitigen. Dazu kommt noch, daſs der Durchstich, wenn er auch in gerader Linie ausgeführt wird, die Länge des Laufs nur um den achten Theil verkürzt, woher auf die Wirkung der Strömung zur Ausbildung des Betts nicht zu hoffen ist, wenn man nicht etwa den alten Lauf sperren wollte. Angeblich wollte man die Vorfluth befördern und die Umgebungen von Wien und den niedrigen Theil der Stadt gegen Inundationen schützen. Meine Besorgniſs bezog sich darauf, daſs während der Aushebung des neuen Laufes, wobei ein Theil

*) Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur- und Architecten-Vereins. XXster Jahrgang 1868. Seite 141.

des Inundations-Gebiets gesperrt werden mufs, gerade diese Gefahr sich noch vergröfsert, dafs ferner die Kosten für die vollständige Darstellung des neuen Betts, wie für die Sicherung seiner Ufer sehr grofs sein werden, und dafs nach der Eröffnung des neuen Armes, während also beide wirksam sind, der Abfluſs des kleinen Wassers so befördert werden wird, dafs die Tiefe oberhalb des Theilungspunktes, wo gerade ein Felsriff durch das Bett hindurchsetzt, für die Schiffahrt nicht mehr genügt. Der künstlichen Schliefsung des alten Stromlaufs stehn aber gewifs die Interessen der anliegenden Ortschaften entgegen.

In dem zu Preufsen gehörigen Theil der Elbe sind in neurer Zeit verschiedene Durchstiche zur Ausführung gekommen, welche vorzugsweise die Erleichterung der Schiffahrt bezweckten, damit bei demselben Winde längere Strecken besegelt werden könnten. Zum Theil dienten sie aber auch zur Vermeidung der schwierigen Uferdeckungen in scharfen Krümmungen. Sie haben ihre Zwecke vollständig erfüllt, und Verwüstungen, ähnlich den in Amerika eingetretenen, sind dabei nie vorgekommen, da man die Wirkungen vorhersah, und denselben vorbeugte. Sie bildeten sich auch sämmtlich sehr schnell aus, indem ihre Längen vergleichungsweise zu der der abgeschnittenen Stromläufe nie gröfser als 1 : 3 waren, so dafs die Schiffahrt dabei nie unterbrochen wurde. Endlich ist noch zu erwähnen, dafs die bei der Eröffnung auf einzelne Punkte concentrirten starken Gefälle schon während der ersten Verbreitung der Durchstiche sich ausglichen, also auch in dieser Beziehung die Schiffahrt nicht erschwert war, sobald die alten Arme nicht mehr befahren werden konnten.

Was die Ausgleichung des Gefälles und die Vertiefung des Flufsbettes oberhalb des Durchstichs betrifft, so verdient noch ein Ereignifs erwähnt zu werden, welches zunächst grofse Besorgnifs erregte, sich aber bald nicht nur als ganz unschädlich, sondern sogar als vortheilhaft erwies. Die Saale bildete früher kurz vor ihrem Einfluſs in die Elbe bei Saalhorn eine weit ausgezogene Serpentine von etwa 800 Ruthen Länge, während die beiden Endpunkte derselben nur etwa 50 Ruthen von einander entfernt waren. In den scharfen Krümmungen, die sich so nahe gegenüber lagen, hatte man zwar die concaven Ufer gedeckt, doch nicht so vollständig, dafs nicht vielfach neue Einbrüche vorkamen, welche besorgen

liefsen, dafs der schmale Rücken endlich durchbrechen würde. Schon Eytelwein hatte empfohlen, dieses zu verhüten, und obwohl von mancher Seite die Gefahr nicht für so bedeutend erachtet wurde, so unterliefs man doch nicht die Deckungs-Arbeiten fortzusetzen, bis im Frühjahr 1831 der Durchbruch dennoch erfolgte. Bei der sehr grofsen Abkürzung des Laufes ergofs sich der Flufs sogleich durch die neue Rinne, und vertiefte und verbreitete sie so schnell, dafs beim Wiederbeginn der Schiffahrt alle Fahrzeuge sehr bequem den neuen Weg verfolgen konnten. Wenn aber oberhalb der frühern Serpertine das Flufsbett sehr schnell die volle Tiefe angenommen hatte, so rührte dieses wohl zum Theil auch davon her, dafs das Gefälle in der Serpentine bei kleinem Wasser schon vorher nur geringe gewesen war, weil der Rückstau der Elbe noch weiter aufwärts sich erstreckt hatte.

Die Rücksichten die man bei Ausführung der Durchstiche zu nehmen und die Vorsichts-Maafsregeln, die man dabei zu ergreifen hat, sind folgende.

Zunächst mufs man durch sorgfältige Messungen das absolute Gefälle ermitteln, welches beim niedrigen Wasserstande die zu durchstechende Serpentine hat, und überlegen, ob dieses bei der Beschaffenheit des Flufsbettes sich so vertheilen läfst, dafs es die Schiffahrt nicht zu sehr belästigt, und ob auch die Tiefe, welche letztere braucht, überall sich von selbst darstellen wird, oder künstlich dargestellt werden kann.

Die genaue Untersuchung der Beschaffenheit des Bodens in der Richtung des Durchstichs ist gleichfalls nothwendig, um die Kosten der Ausgrabung zu ermitteln, so wie auch um sich zu überzeugen, dafs die nöthige Vertiefung oder Verbreitung von selbst eintreten, oder durch welche Mittel solche künstlich bewirkt werden kann. Eben so mufs man bei Aufstellung des Projects auch schon auf die künftige Befestigung der Ufer Rücksicht nehmen.

Die Richtung des Durchstichs ist so zu wählen, dafs derselbe nach Eintritt der beabsichtigten Verbreitung sich sowol an die obere, wie an die untere Stromstrecke eben so anschliefst, wie dieses für die Wahl der Streichlinien der Buhnensysteme angegeben ist. Man wird dabei jedoch, soviel es geschehn kann, gröfsere Anhöhen oder Felsen vermeiden, auch mufs man die neuen Ufer so

legen, dafs nicht etwa bei Einbrüchen in dieselben, die zuweilen sehr schnell sich ereignen, Häuser oder ganze Gehöfte in Gefahr kommen.

Ferner verlangt die Erhaltung der erforderlichen Land-Communicationen ganz besondere Aufmerksamkeit. Gewöhnlich bildet der Flufs oder Strom die Grenze zwischen den Fluren zweier Ortschaften, oder wenigstens zwischen verschiednen Besitzungen. Bei Ausführung der Durchstiche wird daher, wenn keine Aenderung im Besitzstande eintritt, der nächste Zugang zu einzelnen Grundstücken abgeschnitten, und man mufs entweder für die eingetretene Erschwerung der Bewirthschaftung bedeutende Entschädigungen zahlen, oder zur Erbauung von Brücken oder Fähren sich entschliessen. Letzteres wird um so kostbarer, als gemeinhin auch auf die Uebernahme der spätern Unterhaltung derselben gedrungen wird. Um solchen Anforderungen zu entgehn, versucht man gewöhnlich die Durchstiche so zu legen, dafs eine Ausgleichung der zu beiden Seiten abgeschnittenen Grundstücke stattfindet, und dieselben gegenseitig vertauscht werden können. Alsdann erhalten die Durchstiche andre Richtungen, als sie mit alleiniger Rücksicht auf ihren eigentlichen Zweck erhalten müfsten, aufserdem aber pflegen die Grundbesitzer dadurch auch noch nicht befriedigt zu werden, indem es keineswegs auf die Ausgleichung des Flächeninhalts, sondern auch auf die Güte der Grundstücke ankommt, und dieselbe Wiese für denjenigen, der sie verliert, angeblich immer gröfsern Werth hat, als für den, der sie erhalten soll. Die hierbei entstehenden Schwierigkeiten stellen sich jedesmal sehr grofs heraus, und oft so grofs, dafs die ganze Anlage deshalb unterbleiben mufs. Kommt sie indessen zur Ausführung, so mufs der Staat oder die Commune, welche sie im allgemeinen Interesse veranlafst, gewöhnlich noch bedeutende Entschädigungen zahlen, um jeden Einzelnen zufrieden zu stellen.

Die Breite, welche das ausgebildete neue Strombett erhalten soll, ergiebt sich aus denselben Untersuchungen, durch welche der gegenseitige Abstand der Buhnen vor beiden Ufern ermittelt wird (§. 27.). Im vorliegenden Fall erfordert diese Ermittelung aber eine um so gröfsere Sorgfalt, als die Ausdeckung der Uferlinien, sobald der Abbruch sich bis zu denselben erstreckt hat, ohne Zeitverlust eintreten mufs, und man nicht füglich später noch Aenderungen

darin vornehmen und die Ufer etwa zurücklegen oder weiter vortreiben darf. Aufserdem kommt hierbei auch die Strömung des Hochwassers in Betracht. Die Fluthen müssen nämlich in der Richtung des neuen Bettes abgeführt werden, weil dieses sich sonst nicht gehörig ausbilden, noch auch seine Tiefe sicher behalten könnte. Es mufs sonach das Hochwasser-Profil gleichfalls die angemessene Ausdehnung haben. In den meisten Fällen ist diese Bedingung leicht zu erreichen, und gemeinhin findet schon vor der Ausführung der Durchstiche, in der Richtung derselben zur Zeit des Hochwassers, eine starke Strömung statt.

Nur bei kleinen Flüssen gräbt man die Durchstiche zuweilen in ihrer ganzen Breite aus, bei gröfsern Strömen geschieht dieses aber nicht, weil es zu kostbar sein würde. Die vollständige Verbreitung wird alsdann der Wirkung des Wassers überlassen, und es ist klar, dafs man auf deren Eintritt um so sichrer hoffen kann, je gröfser die Tendenz des Stroms ist, den neuen Weg zu verfolgen. Es kommt hierbei vorzugsweise auf den Unterschied des relativen Gefälles in beiden Stromläufen, oder auf das Verhältnifs der Längen des alten und neuen Armes an. Aufserdem ist dabei auch die Stärke des Stroms oder das relative Gefälle selbst und die Festigkeit des Bodens von Einfluſs. Der alte hinreichend breite und tiefe Arm zieht wegen des weitern Profils den Strom gemeinhin noch stark an, und der neue Arm kann nur in Folge des grössern relativen Gefälles einen Theil des Wassers aufnehmen. Dieses mufs aber schnell genug darin fliefsen, um die beabsichtigte Erweiterung und Vertiefung hervorzubringen, denn sonst unterbleibt diese Wirkung nicht nur, sondern es lagern sich sogar die Sinkstoffe in dem künstlich gebildeten Kanale ab, und derselbe versandet.

Die bei Gelegenheit der Stromspaltungen (§. 25.) angedeuteten Untersuchungen dienen zur Ermittelung der Geschwindigkeiten, die nach der Ausführung des Durchstichs sowohl in demselben, als in dem alten Arm eintreten werden, woraus man die Angemessenheit der gewählten Breite beurtheilen kann. Diese Untersuchung ist aber wegen der Unsicherheit der zum Grunde zu legenden Daten nicht leicht, und namentlich pflegen die Profile des alten Arms so verschieden zu sein, dafs man sich in Verlegenheit befindet, einen bestimmten Werth derselben der Rechnung zum Grunde zu legen. Aufserdem darf man nicht vergessen, dafs die Verbreitung und Ver-

tiefung des Durchstichs nicht sowohl bei mittlerem oder kleinem Wasser, sondern gewöhnlich bei hohem Wasser zu erfolgen pflegt.

Historisch mag hier erwähnt werden, dafs man bei grofsen Strömen den Durchstichen nur den zwölften und mitunter sogar nur den zwanzigsten Theil der Normalbreite giebt. So wurde der Neuburger Durchstich im Ober-Rhein, nahe unterhalb der Französischen Grenze nur in 38 Fufs Breite ausgeführt, während die Normalbreite des Rheins daselbst zu 770 Fufs Rheinländisch angenommen war, oder im Badenschen Maafs beziehungsweise 40 und 800 Fufs. Der Durchstich schnitt indessen eine scharfe Serpentine ab, der Unterschied im Gefälle war daher sehr grofs, und die Erfahrung hat auch bestätigt, dafs die getroffne Wahl angemessen war. Bei kleinern Strömen und Flüssen pflegt man dagegen eine grössere Breite, oft von ein Fünftel, ein Drittel, oder der Hälfte der Normalbreite zu wählen, so wie man zuweilen dem Durchstich auch gleich die volle Breite giebt, wodurch der Zweck ohne Zweifel am sichersten und schnellsten erreicht wird.

Demnächst entsteht die Frage, ob man den auszugrabenden Kanal in die Mitte des beabsichtigten neuen Stromlaufs legen soll. Gewöhnlich geschieht dieses, und wenn beide Seiten symmetrisch sind, so ist gewifs kein Grund vorhanden, eine andre Richtung zu wählen. Nichts desto weniger tritt eine solche Gleichmässigkeit nur selten ein, und gemeinhin ist der Durchstich, wenn man für seine passende Ein- und Ausmündung sorgt, mehr oder weniger gekrümmt. Der Kanal wird alsdann gleichfalls gekrümmt, und bei eintretender Strömung ist der Angriff auf sein concaves Ufer stärker, als auf das convexe. Jenes weicht also schneller zurück, als dieses, und wenn man es decken müfste, während das andre durch den Abbruch noch nicht erreicht ist, so wäre diese Deckung schwieriger und es kann sogar zweifelhaft sein, ob das convexe Ufer jemals weit genug zurückweichen wird. Hiernach erscheint es angemefsner, den Kanal näher an das convexe, als an das concave Ufer zu legen, wie dieses auch in Fig. 151. angenommen ist, indem die punktirten Linien die beabsichtigten Ufer des neuen Strombetts bezeichnen.

Die Ausgrabung des Kanals kann nur bis zum Grundwasser, oder wenig darunter erfolgen. Wollte man sie weiter fortsetzen, so müfste für Wasserwältigung gesorgt werde. Eine solche

ist in thonigem Boden allerdings ausführbar, sie ist aber so kostbar, dafs man sie selbst in diesem Falle zu unterlassen pflegt. In Sand oder Kiesgrund wird aber wegen der Nähe des Stroms der Wasserzudrang gewöhnlich zu stark, als dafs man einigen Erfolg davon erwarten dürfte. Das Grundwasser findet sich aber in der ganzen Ausdehnung des Kanals nicht in gleicher Höhe, indem es mit dem Wasserspiegel der nächst belegenen Stromstrecke übereinstimmt, es ist also am obern Ende des Kanals höher als unten. Hiernach wird die Arbeit am leichtesten, wenn man die Ausgrabung am untern Ende beginnt, und sie daselbst so tief herabführt, dafs das Grundwasser frei abfliefsen kann. Das Oberwasser mufs dagegen bis zur Eröffnung des Durchstichs, selbst gegen die höchsten Anschwellungen abgeschlossen bleiben, weil diese die bereits ausgeführten Erdarbeiten beschädigen und namentlich die noch nicht zusammenhängenden Theile des neuen Bettes wieder mit Sand und Kies füllen würden. Man sichert daher, wie Fig. 151. dargestellt ist, das obere Ende des Kanals durch einen Deich, und zu gleichem Zweck ziehn sich zu beiden Seiten des Kanals in angemefsner Entfernung von den Uferlinien andre Deiche hin, die später das Fluthprofil beschränken und dadurch die Strömung im Kanal verstärken. Dieser letzte Zweck wird aber nur erreicht, wenn die Ueberströmung über die zu durchschneidende Halbinsel durch eine Deichanlage längs des alten Arms verhindert wird. Die Figur giebt eine solche gleichfalls an. Endlich pflegt man noch bei eintretendem hohem Wasser auch den Zutritt desselben in die untere Oeffnung des Kanals mittelst eines Deiches zu verhindern, um die Grabenarbeit noch einige Zeit hindurch fortsetzen zu können. Der eingedeichte Raum füllt sich indessen bald durch Quellwasser an, welches beim hohen Stande des Stroms nicht zu beseitigen ist. Der Nutzen dieses untern Deiches ist also nicht bedeutend. Die erwähnten Deichanlagen vermehren nur in geringem Maafse die Kosten des Durchstichs, während sie zuweilen diese sogar ermäfsigen, in sofern sie Gelegenheit zur Ablagerung der ausgehobnen Erde bieten.

Die Durchstiche müssen möglichst tief ausgegraben werden, die letzte Vertiefung derselben nimmt man daher vor, sobald der kleinste Wasserstand eintritt, und gemeinhin legt man die ganze Sohle des Kanals in die Horizontale des Wasserspiegels der untern Mündung. In den meisten Fällen ist diese Anordnung ohne Nach-

theil, wenn aber eine starke Niveau-Differenz zwischen dem Ober- und Unterwasser stattfindet, so verliert dadurch der Durchstich gleich anfangs seine Regelmäfsigkeit, denn sobald das Wasser hineintritt, so ist bei der verhältnifsmäfsig gröfsern Tiefe am obern Ende die Geschwindigkeit daselbst geringer, als weiter unterhalb. Der Angriff gegen die Ufer ist daher nicht gleichmäfsig, und es ist sogar an der Stelle, wo die Geschwindigkeit am geringsten ist, das Entstehn von Untiefen zu besorgen. Ferner kann auch bei der oft übereilten, und daher unvollständigen Forträumung des obern Dammes, das erwähnte gröfsere Profil den Uebersturz in die Mündung noch vermehren, denn der Wasserspiegel zunächst unterhalb dieses Uebersturzes würde sich heben, sobald der Abfluſs in der nächsten Strecke bei minderer Tiefe etwas erschwert würde. Es ist sonach angemefsner, der Sohle des Durchstichs gleich bei der Ausgrabung dasselbe Gefälle zu geben, welches der hindurchgehende Strom im Wasserspiegel annimmt. Um dieses zu bestimmen, darf man nicht das im alten Arm vorhandene absolute Gefälle zum Grunde legen, denn dieses vermindert sich später, indem ein Theil der Wassermenge sogleich durch den neuen Arm abfliefst. Man kann die eintretende Senkung des Oberwassers durch die oben angedeutete Untersuchung finden, und hiernach die der Sohle zu gebende Neigung bestimmen. Wenn der neue Arm ein starkes Gefälle hat, werden auf solche Weise nicht nur die Kosten der Ausgrabung vermindert, sondern die Strömung wird auch regelmäfsiger, und man darf mit mehr Sicherheit auf eine gehörige Ausbildung des neuen Armes hoffen.

Die Seitendossirungen des ausgegrabnen Durchstichs macht man in der Regel ziemlich steil, damit sie um so leichter brechen und die beabsichtigte Verbreitung befördern. Nichts desto weniger darf man nicht unbeachtet lassen, dafs die Dossirungen bis zum Einlassen des Stroms sich halten müssen, und dafs bei zu schnellem Einstürzen der Ufer die an sich schon sehr mäfsige Tiefe noch mehr vermindert wird. Es dürfte daher passender sein, die Dossirungen flacher zu halten und ihnen etwa eine zweifache Anlage zu geben. Eine Bekleidung derselben mit Rasen ist zwecklos, auch darf der zur Bedeckung der Deiche erforderliche Rasen von dem Uferstreifen entnommen werden, der später abbrechen und an dessen Stelle die Verbreitung des Bettes treten soll.

Nachdem die Ausgrabung des Durchstichs erfolgt ist, pflegt man den Deich an der obern Mündung bei höherm Wasserstande zu durchstechen. Bei kleinem Wasser, wo überhaupt die Strömung schon mäfsig ist, würde dieselbe bei der geringen Tiefe des Durchstichs auf diesen keine bedeutende Wirkung äufsern, und möglicher Weise sogar die Ablagerung von Sand oder sonstige Verflachungen zur Folge haben. Sobald dagegen ein höherer Wasserstand eintritt, und der Wasserspiegel im alten Stromlauf, wie auch im Durchstich gleichmäfsig steigt, so vermindert sich der relative Unterschied der Tiefen in beiden. Das gröfsere relative Gefälle im Durchstich kann sonach verhältnifsmäfsig einen gröfsern Theil der Wassermenge diesem zuweisen, als bei kleinem Wasser. Es ist deshalb die Ausbildung des Durchstichs nur bei höherm Wasser zu erwarten. Man hat indessen gemeinhin noch die Absicht, durch einen recht kräftigen Erguſs des Oberwassers die Vertiefung sogleich möglichst zu befördern. Zu diesem Zweck wird der Deich nicht allmälig abgegraben, sondern man bemüht sich, ihn nach und nach zu schwächen und ihn alsdann schnell zu durchstechen und ganz zu beseitigen. Bis dieses geschehn, ist der Durchstich noch in seiner ganzen Länge nur bis zum Niveau des Unterwassers angefüllt, und das ganze Gefälle zwischen Ober- und Unterwassers ist auf die obere Mündung concentrirt. Sobald diese frei gemacht wird, bildet sich der beabsichtigte Wassersturz. Er erzeugt zuweilen Uferbrüche, auch wohl geringe Vertiefungen, eine grofse Wirkung kann man davon aber nicht erwarten, weil er zu früh aufhört, als dafs eine solche eintreten könnte. Der starke Zufluſs hebt nämlich sogleich den Wasserspiegel im obern Theil des Kanals, und es stellt sich in der ganzen Länge desselben ein mehr oder weniger gleichmäfsig vertheiltes Gefälle ein. Andrerseits treten die Wirkungen des ersten Uebersturzes, wenn sie auch bedeutend sein sollten, keineswegs ganz regelmäfsig ein, da man die Forträumung des Deiches und des schmalen Erdrückens vor der obern Mündung bei hohem Wasser nicht vollständig bewirken kann.

Das beschriebne Verfahren hat sonach grofse Mängel, und in vielen Fällen dürfte das Eintreten nachtheiliger Unordnungen in der obern Mündung der Durchstiche allein hiervon herrühren. Es erscheint daher zweckmäfsiger, schon bei kleinem Wasserstande die obere Mündung zu eröffnen, und durch vollständiges Ausgraben und

Ausbaggern den Deich und den Erdrücken zu beseitigen, ehe das Wasser stark hineinströmt. Dabei kann es freilich geschehn; dafs vor dem Eintritt des hohen Wassers schon eine geringe Verflachung in der obern Mündung erfolgt, diese wird aber jedenfalls unbedeutender sein, als wenn ein grofser Theil des Deiches nicht beseitigt wäre.

Als Beweis für die vortheilhafte Wirkung des ersten Ergusses des Stroms in den Durchstich führt man häufig die Eröffnung der jetzigen Yssel-Mündung oberhalb Arnheim an. Die Verhältnisse waren dabei aber ganz ungewöhnlich. Als man nämlich im Jahre 1773 der Yssel eine neue, passendere Mündung gab und bereits den über 4000 Fufs langen Durchstich zu diesem Zweck ausgeführt hatte, besorgte die Provinz Geldern, der Zudrang des Wassers in die Yssel würde während der Zeit, dafs die alte Mündung noch wirksam blieb, zu grofs werden, und bestand sonach darauf, dafs vor der Eröffnung der neuen Mündung die alte geschlossen würde. Hierdurch verlor die Yssel, die etwa 15 Meilen lang ist, allen Zufluſs von oben, und der Wasserstand in ihr senkte sich bis nahe auf den Spiegel der Südersee. Indem endlich im folgenden Jahre der Abschlufsdamm beseitigt wurde, mufste nicht nur der Durchstich selbst, sondern das ganze Flufsbett durch das einstürzende Wasser gefüllt werden, und dieses ergofs sich so stark durch den Kanal, dafs es denselben in kurzer Zeit vollständig verbreitete und vertiefte. Zwölf Stunden nach der Eröffnung gingen schon Schiffe hindurch.

Das bisher Gesagte bezieht sich im Allgemeinen auf Durchstiche und findet seine Anwendung ebensowohl auf die einfachen, als auf die zusammengesetzten. Bei letztern kann der einzelne Durchstich, der also nur ein Theil der ganzen Anlage ist, den Strom nicht gehörig aufnehmen, weil seine obere oder untere Mündung unpassend situirt ist. Die gleichzeitige Eröffnung beider Theile, besonders wenn sie sehr lang sind, ist aber in vielen Fällen nicht möglich, da es oft an Arbeitskräften fehlt, um so grofse Ausgrabungen in kurzer Zeit zu vollenden, während man andrerseits den fertigen, jedoch noch abgeschlofsnen Durchstich zur Zeit des Hochwassers nicht mit Sicherheit vor dem Einbruch schützen kann. Man pflegt daher bei solchen zusammenhängenden Anlagen gemeinhin den obern Durchstich zuerst auszuführen und zu eröffnen, wo-

bei es nicht fehlen kann, dafs an der untern Mündung desselben wegen der scharfen Krümmung starke Uferbrüche und unregelmässige Strömungen entstehn, welche später die Ausbildung des folgenden Durchstichs erschweren. Tritt aber der Fall ein, welchen Figur 153. darstellt, dafs nämlich ein Theil des bestehenden Flufsbetts zwischen beiden Durchstichen beibehalten werden soll, jedoch so, dafs die Richtung der Strömung in demselben der frühern gerade entgegengesetzt ist, so bleibt nur übrig, die Eröffnung beider Kanäle gleichzeitig vorzunehmen.

Nachdem die Ausgrabungen beendigt sind, kommt es zunächst darauf an, bei eintretendem höhern Wasserstande eine hinreichend starke Strömung in dem Kanal darzustellen, wodurch die beabsichtigte Vergröfserung des Profils bald herbeigeführt, und dadurch wieder die dauernde Durchströmung gesichert wird. Ein solcher Erfolg zeigt sich gemeinhin nicht sogleich, und oft vergeht eine lange Reihe von Jahren, bis die Ausbildung des neuen Stromlaufs beginnt. Während dieser Zeit mufs man aber die erforderlichen Aufräumungen nicht vernachlässigen, weil sonst der Kanal sich theilweise schliefsen und somit jede Aussicht auf Erfolg verschwinden würde. Man wendet indessen gewöhnlich noch manche andre Mittel an, um der Erweiterung des Profils zu Hülfe zu kommen.

Besonders wirksam ist in dieser Beziehung die künstliche Durchbrechung der Eisdecke vor dem Eintritt des Eisgangs. Es gelingt dadurch zuweilen, die Abführung des Wassers durch den neuen Arm so sehr zu verstärken, dafs in dem ältern das Eis lange liegen und derselbe dadurch gesperrt bleibt, während das Hochwasser den neuen Weg beinahe ausschliefslich verfolgt. Es fehlt nicht an Beispielen, dafs in solchem Fall die Durchstiche, wenn sie auch bisher unwirksam waren, sich in Kurzem zu Hauptarmen ausbildeten.

Demnächst hat man zuweilen auch versucht, den Kanal durch künstliche Auflockerung des Grundes zu vertiefen. Dieses Mittel ist indessen nur in dem Fall wirksam, wenn die Strömung stark genug ist, um den lockern Sand oder Kies fortzuführen. Da der Unterschied der beiden Geschwindigkeiten, die zum Forttreiben des gelösten Sandes und zum Lösen desselben erforderlich sind, nur sehr geringe ist, so darf man sich bei reinem Sande keinen merklichen Erfolg hiervon versprechen. Anders verhält es sich, wenn

die Zwischenräume zwischen den einzelnen Körnchen mit thonigem Niederschlage angefüllt sind, der diese fest verbindet, aber leicht fortgespült wird, sobald man die Erdmasse aufwühlt. Die Auflockerung des Grundes kann auf verschiedne Weise geschehn, wenn man besondre Apparate dazu anwenden will. Hiervon soll im Folgenden ausführlicher die Rede sein. Häufig bedient man sich dabei nur eines gewöhnlichen und zwar kleinern Schiffsankers, oder sogenannten Draggers, der an zwei Leinen gebunden ist, vor welche auf beiden Ufern Pferde gespannt sind, die ihn längs des Durchstichs hin- und herziehn.

Wenn einzelne feste Thonbänke im Durchstich vorkommen, die dem Angriff des Stroms widerstehn und selbst beim Ueberstreichen des Ankers nicht angegriffen werden, so mufs man andre kräftigere Maafsregeln wählen, und durch Ausgraben oder Baggern sie bis zur erforderlichen Tiefe beseitigen. In ähnlicher Weise mufs man auch den gewachsnen Felsboden ausbrechen oder durch Sprengen entfernen.

Endlich hat man häufig versucht, durch Verbreitung der obern Mündung des Durchstichs den Zufluſs, also die Strömung in demselben zu verstärken. Diese Anordnung ergiebt sich indessen meist als unwirksam und selbst als nachtheilig, weil die Regelmäfsigkeit des neuen Stromlaufs dadurch aufgehoben wird und partielle Verflachungen und Vertiefungen entstehn. Auch die schräge in den Strom geführten Schöpfbuhnen zeigen gemeinhin keine Wirkung, oder ergeben sich sogar als nachtheilig, indem sie denjenigen Arm verstärken, dem der Zufluſs durch sie entzogen werden soll. Die mehrfach gemachte Erfahrung, daſs ein Durchstich nach Erbauung einer Schöpfbuhne sich ausbildet, will in sofern wenig besagen, als es unentschieden bleibt, ob dieses nicht ohne dieselbe gleichfalls geschehn wäre. Fig. 155. zeigt eine Schöpfbuhne, welche dem linkseitigen Arm oder dem Durchstich, eine gröfsere Wassermenge zuweisen soll. Sie hält in der That das Wasser etwas zurück und staut dasselbe vor sich auf, wodurch das absolute und sonach das relative Gefälle im Durchstich vergröfsert wird. Der Erfolg dieses Staues äufsert sich aber keineswegs allein auf den Durchstich, sondern in gleichem Maafse auch auf den alten Stromarm, und wenn dessen Profil beziehungsweise zu seiner gröfsern Länge der Abführung des Wassers günstiger ist, so verstärkt sich

die Strömung und mit derselben auch die Tiefe vor dem Kopf des Werks und der Strom im rechtseitigen Arm bildet sich um so mehr aus. Anders verhält es sich, wenn man das Werk recht regelmässig in grofser Länge stromaufwärts führt, und zwar zuletzt in solcher Richtung, dafs es dem Stromstrich parallel ist. In dieser Weise ist die Schöpfbuhne oder das Separationswerk an der Mündung des Pannerderschen Kanals angelegt, durch welches die Zuflüsse des Rheins und der Waal regulirt sind. Solche Bauten werden aber wegen der grofsen Kosten nicht leicht ausgeführt.

Wenn der Durchstich endlich eine starke Strömung aufgenommen hat, so darf man ihn keineswegs sich selbst überlassen, vielmehr ist in dieser Zeit eine besondre Aufmerksamkeit auf ihn und ein kräftiges Einwirken auf seine Ausbildung noch erforderlich, damit er innerhalb der beabsichtigten Uferlinien bleibt und nicht etwa dieselben durchbricht und sich stellenweise verbreitet oder einen ganz unregelmäfsigen Lauf annimmt. Diese Aufgabe ist so schwierig, dafs man sie nur selten gelöst hat, und da die stärksten Uferbrüche zur Zeit des Hochwassers eintreten, wo niedrige Ufer nicht zugänglich sind, so ist es oft unmöglich, Unordnungen dieser Art vorzubeugen. Nichts desto weniger ist es doch nothwendig, jede mögliche Vorsichtsmaafsregel zu diesem Zweck zu ergreifen. Dahin gehört zunächst, dafs man die bestimmten Uferlinien durch ausgesteckte Pfähle bezeichnet, damit man leicht übersehn kann, ob dieselben stellenweise bedroht oder schon erreicht sind. Sodann mufs man noch, ehe der Abbruch sich bis zu dieser Linie erstreckt hat, das zur Deckung erforderliche Material herbeischaffen, oder es in der Nähe in Bereitschaft halten. In dieser Art hatte man nach Ausführung mehrerer Durchstiche am Ober-Rhein auf dem Badischen Ufer die Deckung vorbereitet, während dennoch der Strom an vielen Stellen die Uferlinie weit überschritten hat. Wenn man Steinmaterial wohlfeil beschaffen kann, und daher eine Steinschüttung zur Uferdeckung wählt, so ist diese unter allen Umständen am schnellsten auszuführen, oder sie bildet sich beim Abbruch von selbst, wenn die Steine in der Uferlinie gleichmäfsig aufgesetzt waren.

Der Durchstich erhält bei der ersten Ausgrabung, wie erwähnt, gemeinhin nicht die volle Breite und Tiefe, man überläfst vielmehr seine Ausbildung dem Strom. Es werden daher bedeutende Erd-

massen dem letztern zugewiesen, welche ohne Zweifel grofs genug sind, um die nachtheiligsten Verflachungen hervorzubringen. Man vermuthet auch zuweilen, solche ausgespülte Erd- oder Sandmassen in den unterhalb belegnen Strecken wiederzufinden, und deshalb wird die Ausführung der Durchstiche in der angegebnen Weise oft als höchst gefährlich dargestellt. Man darf indessen nicht unbeachtet lassen, dafs jeder Strom schon von den Seitenzuflüssen und von seinen Ufern, soweit dieselben nicht geschützt sind, übermäfsig grofse Quantitäten Material erhält, gegen welche die aus dem Durchstich gelösten Erdmassen wenig in Betracht kommen. Es ist auch, soviel bekannt, noch in keinem Falle bestimmt nachgewiesen, dafs durch letztre wirklich Verflachungen erzeugt sind. Wenn man aber die beabsichtigte Veränderung des Stromlaufs vollständig ins Auge fafst, und nicht nur die Vertiefung und Verbreitung eines neuen Armes, sondern zugleich die Verlandung des alten berücksichtigt, so leidet es keinen Zweifel, dafs weit mehr Material in dem letztern sich niederschlagen kann, als aus dem ersten herausgerissen wird, und sonach ist der ganze Erfolg einer Regulirung dieser Art in Bezug auf die den untern Stromtheilen zugeführten Erd-, Sand- und Kiesmassen jedesmal mehr vortheilhaft, als schädlich.

Ebenso ist auch noch nie nachgewiesen, dafs die unterhalb eines Durchstichs belegnen Ländereien nach der Ausführung desselben höhern Ueberschwemmungen, als früher, ausgesetzt sind. Ich habe in einem speciellen Fall, wobei dieselbe Besorgnifs ausgesprochen war, durch Vergleichung der Wasserstandsbeobachtungen vor und nach der Ausführung der Durchstiche, den Einfluſs derselben auf die untere Stromstrecke zu ermitteln mich bemüht, es zeigte sich indessen keine wahrnehmbare Aenderung der Fluthverhältnisse, auch war der Zeitunterschied zwischen dem höchsten Wasserstande des Stroms und seiner Seitenzuflüsse in der Mittelzahl aus allen Beobachtungen unverändert geblieben, so dafs man hiernach nicht einmal zu der Annahme berechtigt wird, dafs die hohen Fluthen unterhalb der Durchstiche früher eintraten, als sonst geschah. Dieses dürfte sich dadurch erklären, dafs das Hochwasser, welches das ganze Thal inundirt, auch vor der Anlage der Durchstiche nicht das gekrümmte Strombett, sondern einen Weg verfolgte, der nahe mit dem neuen Stromlauf übereinstimmte.

Bei Ausführung von Durchstichen hat man fast jedesmal die

Absicht, den alten Stromarm zur Verlandung zu bringen. Dieses erfolgt zum Theil von selbst, sobald der Strom sich entschieden in das neue Bett wirft, aber eine regelmäfsige und vollständige Verlandung pflegt nicht anders einzutreten, als wenn man mit grosser Sorgfalt die Ausdehnung der Pflanzung überwacht, und besonders darauf achtet, dafs diese nicht etwa stellenweise sich zu sehr ausbreiten, und den Zutritt des Stroms zu den noch nicht verlandeten Theilen verhindern. Die obere Mündung des verlassenen Stromlaufes pflegt sich zuerst zu schliefsen, in der untern tritt die Verlandung langsamer ein, und in der Mitte fehlt sie gemeinhin ganz. Die Aufgabe besteht sonach darin, eine Rinne von hinreichender Capacität zur Seite der Verlandungen offen zu erhalten, durch welche das trübe Wasser ungehindert in den alten Stromarm eintreten und denselben anfüllen kann. Indem aber die einmalige Füllung bei jedem Hochwasser wenig Erfolg haben würde, so mufs auch für den Abfluſs durch die untre Mündung gesorgt werden. Das trübe Wasser tritt alsdann dauernd ein, klärt sich in den weiteren Profilen, wo seine Bewegung fast ganz aufhört, und fliefst gereinigt dem Strom wieder zu. In dieser Art dehnt sich die Verlandung nach und nach von oben nach unten aus. Man mufs darin aber zuweilen nicht nur das Weidengebüsch beseitigen, sondern, wenn die Sandflächen sich stellenweise hoch erheben, darin sogar Rinnen, oder förmliche Kanäle ausheben.

Bei Regulirung des Ober-Rheins längs der ehemaligen Französischen Grenze hatte man zu diesem Zweck in den Deichen oder Coupirungen besondre Oeffnungen gelassen. Diese ganze Stromregulirung unterscheidet sich aber wesentlich von der bisher beschriebenen: sie bezieht sich nämlich nicht auf das Strombett, sondern auf das Stromthal. Man läfst den Rhein innerhalb des eingedeichten Flufsthals seine Ufer nach wie vor beliebig angreifen, verhindert weder Stromspaltungen, noch auch sonstige Unregelmäfsigkeiten, sorgt aber dafür, dafs das Hochwasser ziemlich regelmäfsig zwischen Deichen fliefst. Die eigenthümlichen Fluthverhältnisse des Ober-Rheins, sowie die beispiellose Verwilderung des Stroms lassen diese Anordnung nur als ersten Beginn der Regulirung erscheinen. Die Hochwasser, welche nur der Erguſs des Bodensees sind, treten im Sommer ein, erreichen im Vergleich zu den Anschwellungen weiter abwärts nur eine mäfsige Höhe, halten aber

dafür auch sehr lange an. Die Verwüstungen, welche sie hervorbringen, sind daher ungemein grofs, und um so nöthiger war es, diesen im Interesse des Ackerbaues Einhalt zu thun.

Der Rhein wurde mit Deichen eingeschlossen, deren gegenseitiger Abstand 66 Ruthen mifst, und die, so oft sie freiliegen, auf der Stromseite bis zur Höhe des kleinsten Wassers durch Senkfaschinen mit Steinbewurf und bis zum Mittelwasserstande oder bis zum Wiesengrunde durch Steinpflaster gedeckt sind. Diese künstliche Deckung fehlt an allen Stellen, wo die Deiche auf dem Wiesengrunde liegen, sie war aber nothwendig, wo der Deich ins Flufsbett trifft, oder einzelne Arme durchschneidet. Im letzten Fall bilden die Deiche Coupirungen, und es sind darin Oeffnungen gelassen, die den fünften bis vierten Theil des abgeschnittnen Armes zur Weite haben. Sie sind im Boden durch Sturzbetten von Faschinen mit Steinbewurf gesichert und zugleich an den Seiten gehörig befestigt. In der untern Mündung ist der Arm ganz offen, um hier keine starke Geschwindigkeit zu veranlassen. Durch jene Oeffnung im Deiche stürzt das Wasser mit Heftigkeit in den Seitenarm, dessen Gefälle sich beinahe vollständig auf die obere Mündung concentrirt, sobald daher das Wasser über diese Stelle fort ist, so fliefst es langsam weiter. Stark getrübt tritt es hinein, und vollkommen klar kommt es unten wieder heraus. Einzelne besonders tiefe alte Stromarme sollen in drei Jahren um 16 Fufs sich erhöht haben.

Es ist bereits wiederholentlich der langen Reihe von Durchstichen erwähnt, welche am Ober-Rhein zwischen Baiern und Baden ausgeführt sind. Es erscheint angemessen, über dieselben noch ausführlicher zu sprechen, da sie ohne Zweifel zu den wichtigsten Anlagen dieser Art gehören. Ich habe dieselben in früherer Zeit wiederholentlich gesehn und durch die Badenschen Ingenieure über sie vielfache interessante Mittheilungen erhalten. Fig. 154. stellt die wichtigsten derselben dar. Ich mufs indessen erwähnen, dafs mir die in neuster Zeit darin eingetretenen Veränderungen nicht bekannt geworden sind.

Der Rhein hat bei seinem Austritt aus der Schweiz ein sehr starkes Gefälle, welches indessen bald merklich abnimmt, so dafs es sich unterhalb Strafsburg auf nahe 1 : 2000 und an der Französisch-Bairischen Grenze auf 1 : 3000 reducirt. Weiter abwärts wird es geringer und beträgt zwischen Mannheim und der Hessischen

Grenze durchschnittlich nur etwa noch 1 : 10000, während es oft auf lange Strecken noch kleiner ist. Hiernach konnte man ohne Besorgnifs, dafs die Schiffahrt, die hier keineswegs lebhaft war, durch die Vergröfserung des Gefälles leiden möchte, zur Ausführung der Durchstiche unterhalb der Französischen Grenze sich entschliessen. Die Stromlängen und Gefälle waren vor der Ausführung der Durchstiche bei mittlerem Wasser längs der Baierischen Grenze folgende:

	Länge in Ruthen	absolutes Gefälle.	relatives Gefälle.
Von Neuburg bis zum Wörther Durchstich . .	4301	15,20 Fufs	1 : 3396
von diesem bis zum Germersheimer Durchstich	4700	10,42 „	1 : 5413
von diesem bis zum Mechtersheimer Durchstich	5284	7,07 „	1 : 8966
von diesem bis zum Angelhofer Durchstich . .	5987	6,69 „	1 : 10736
von diesem bis zum Altripper Durchstich . .	4540	4,30 „	1 : 12666
von diesem bis zur Mannheimer Brücke . . .	4009	7,36 „	1 : 6533
von derselben bis zum Frankenthaler Kanal .	2549	3,44 „	1 : 8888
von demselben bis zur Hessischen Grenze . .	1646	1,53 „	1 : 12917
also von Neuburg bis zur Hessischen Grenze	33016	56,01 Fufs	1 : 7073

Nachstehend sind nur diejenigen Durchstiche mit Nummern versehn, die zur Ausführung gekommen waren. Die Situations-Zeichnung Fig. 154. zeigt einen grofsen, und zwar den wichtigsten Theil derselben. Die darin angegebnen Nummern stimmen mit den folgenden überein.

1. Der Neuburger Durchstich ist 1817 ausgegraben und im Frühjahr 1818 eröffnet. Er nahm den Strom nicht früher auf, als bis man durch Baggern eine feste Thonbank darin entfernt hatte. Er hat sich vollständig ausgebildet

2. Der Daxlander Durchstich, 1822 eröffnet, hat gleichfalls den Strom vollständig aufgenommen, doch haben die Uferbrüche sich auf beiden Seiten so weit ausgedehnt, dafs man durch Buhnen und Parallelwerke die angenommenen Uferlinien wieder darzustellen versuchen mufste.

3. Der Pforzer Durchstich, 1818 eröffnet, nahm erst 1824 den Strom auf, nachdem man eine Schöpfbuhne an der obern Mündung angelegt hatte. Er hat sich seitdem ausgebildet und seine beiden Ufer sind regelmäfsig gedeckt.

4. Der Knielinger Durchstich, 1817 ausgeführt, war 1818 schon so weit ausgebildet, dafs er als Thalweg benutzt werden konnte. Er hat sich seitdem übermäfsig verbreitet, woher er von beiden Seiten aus wieder durch Buhnen beschränkt werden mufste.

5. Der Wörther Durchstich, 1819 eröffnet, und seit 1821 Thalweg, ist zwar gleichfalls Hauptarm geworden, aber es kommen darin sehr unregelmäfsige Kiesablagerungen vor, auch mufsten die angenommenen Uferlinien namentlich auf der rechten Seite durch vortretende Werke wieder hergestellt werden.

6. Der Neu-Pforzer Durchstich, 1818 eröffnet, wurde erst 1832 Thalweg, nachdem der alte Arm durch die Kiesablagerungen grofsentheils gesperrt war. Seine Ufer haben sich regelmäfsig gestaltet und sind vollständig ausgedeckt.

Die bisher benannten Durchstiche sind übereinstimmend mit der 1817 zwischen Baiern und Baden abgeschlofsnen Convention ausgeführt und haben sich auch sämmtlich zu Hauptarmen ausgebildet, während die alten Stromarme mehr oder weniger, und namentlich in ihren obern Mündungen stark aufgelandet sind.

Nach jener Convention sollte auch bei Schröck ein Durchstich gemacht werden. Der Strom veränderte hier indessen von selbst seine Ufer so vortheilhaft, dafs man durch Correctionswerke ihm sehr nahe dieselbe Richtung geben konnte, welche für den Durchstich projectirt war. Ohne diese günstige Veränderung würde bei der geringen Abkürzung des Stromlaufs der Durchstich sich wahrscheinlich nicht von selbst ausgebildet haben.

Den nunmehr folgenden Durchstichen liegt die Convention von 1825 zum Grunde, welche jedoch 1832 noch wesentlich geändert wurde. Veranlassung zur Fortsetzung der Arbeiten gab das Hochwasser im Jahre 1824, wobei der wohlthätige Einfluſs der bereits ausgeführten Durchstiche sich sehr auffallend zu erkennen gab.

7. Der Linkenheimer Durchstich, 1826 eröffnet, wurde erst 1830 Thalweg. Er ist vollständig ausgebildet und seine Ufer sind gedeckt.

8. Der Leimersheimer Durchstich, 1828 eröffnet, nahm erst 1836 den Strom auf.

Bei Dettenheim war auch ein Durchstich projectirt worden, der jedoch nicht zur Ausführung gekommen ist, da bei der flachen Krümmung, die er abschneiden sollte, die Regulirung durch Buhnen möglich erschien. Diese Stelle war indessen im Jahr 1844 noch sehr unregelmäfsig.

9. Der Germersheimer Durchstich ist 1827 eröffnet. In seinem untern Theil erfolgte gegen 1831 eine starke Vertiefung, wogegen der feste Thonboden im obern Theil dem Angriff des Stroms widerstand. Man setzte daher hier die Ausgrabung noch tiefer fort, worauf seit 1832 die Segelschiffe hindurchgehn. Seine volle Breite hatte er unerachtet der viel gröfsern Länge des alten Arms noch nicht angenommen.

10. Der erste Rheinsheimer Durchstich, der eine starke Serpentine abschneidet, bildete sich nach seiner Eröffnung 1827 nicht sogleich aus. Dieses geschah erst, nachdem im nächsten Jahre auch hier eine Schöpfbuhne angelegt war. Er hatte nahe die beabsichtigte Breite erreicht, und grofsentheils waren die Ufer bereits ausgedeckt.

11. Der zweite Rheinsheimer Durchstich bildete sich wegen des leichten Bodens viel schneller aus. Bald nach seiner Eröffnung 1826 wurde er schon befahren.

12. Der Mechtersheimer Durchstich, 1838 ausgeführt und wahrscheinlich erst 1839 eröffnet, hatte sich so weit verbreitet, dafs er von Segelschiffen und Dampfschiffen durchfahren wurde, wiewohl die beabsichtigten Uferlinien noch nicht erreicht waren.

13. Der Rheinhauser Durchstich, erst 1840 ausgeführt, war so wenig ausgebildet, dafs er Ende 1844 noch nicht durchfahren werden konnte.

Der letzte Durchstich und zum Theil auch der Mechtersheimer sollten ursprünglich in Verbindung mit einem folgenden, nämlich dem Speyrer Durchstich, den Strom in ziemlich gerader Richtung bis in den Scheitel der Serpentine vor Speyer führen, wie die punktirte Linie dieses ungefähr angiebt. In der spätern Convention wurde jedoch hiervon Abstand genommen.

14. Der Angelhofer Durchstich ist bereits 1827 ausgehoben und eröffnet, da er jedoch nur wenig kürzer, als der alte Strom-

arm ist, und der Boden überdies aus festem Thon besteht, so konnte er 1844 noch nicht von Dampfschiffen durchfahren werden. Man hatte verschiedene Mittel in Anwendung gebracht, um den Strom hineinzuleiten. Die in der Zeichnung angegebne Schöpfbuhne, mit starker Steindecke versehn, wurde bereits 1836 erbaut, und ist seitdem erhalten worden. Da die erwartete Wirkung derselben indessen sich nicht zu erkennen gab, so hatte man im folgenden Jahre noch unterhalb dieses Werks einen Kanal aus dem Rhein nach dem Durchstich geführt, um dem letztern eine gröfsere Wassermenge zuzuweisen, und 1838 wurde in dem Durchstich recht kräftig gebaggert.

15. Der Otterstädter Durchstich, 1832 eröffnet, nahm den Strom in wenig Jahren auf und wurde 1838 schon befahren. Er hatte sich aber noch nicht vollständig bis zu den bestimmten Uferlinien verbreitet.

16. Der Ketscher Durchstich, mit dem vorigen gleichzeitig eröffnet, und wie jener in ziemlich leichtem Boden ausgeführt, hat bei der starken Verkürzung des Stromlaufs sich viel schneller und vollständiger ausgebildet. Das linke Ufer ist durchweg mit einer Steindossirung versehn und zum Theil war auch bereits das rechte Ufer ausgedeckt.

Unterhalb dieses Durchstichs wendet sich der Rhein stark rechts und umströmt in einer überaus scharfen Biegung das Bairische Dorf Altripp. Hier war gleichfalls ein Durchstich projectirt worden, der gewifs vortheilhaft gewesen wäre. Derselbe ist indessen nicht zur Ausführung gekommen, weil bei dem angenommnen Grundsatz, dafs die Durchstiche als Thalwege auch die Landesgrenze bilden sollten, das benannte Dorf an das Grofsherzogthum Baden hätte übergehn müssen.

In der Fortsetzung dieses Durchstichs sollte nach der ersten Convention auch der Neckarauer Durchstich zur Ausführung kommen, der den Rhein in ziemlich gerader Richtung bis vor Mannheim geführt haben würde. Er ist indessen ebenso, wie jener, unterblieben, und konnte ohne denselben auch nicht füglich dargestellt werden, denn eines Theils würde er keine passende Einmündung erhalten haben, andern Theils aber fehlte es auch an einem Aequivalent für das in diesem Fall an Baiern fallende Areal, indem bei

allen übrigen Durchstichen eine gegenseitige Ausgleichung der abgeschnittnen Inseln stattfand.

17. Der Friesenheimer Durchstich unterhalb Mannheim ist der letzte und zugleich der längste von allen. Seine Länge beträgt 1195 Ruthen, er trifft überall in festen Thonboden, und dieser Umstand, verbunden mit der unzureichenden Abkürzung des Stromlaufs, ist wohl die Hauptursache, woher er sich so wenig ausgebildet hat. Er wurde 1828 eröffnet, konnte aber 1844 noch nicht von den Dampfschiffen durchfahren werden, wiewohl bei höherm Wasser die Segelschiffe, welche nicht in Mannheim anlegen, hindurchgingen. Im Jahre 1838 war die obere Mündung wieder geschlossen und man gab ihm durch Ausbaggern eine etwas gröfsere Tiefe. Aufserdem hatte man damals noch eine andre eigenthümliche Anlage ausgeführt, die ohne Zweifel mit diesem Durchstich in Beziehung stand. Bei allen andern Durchstichen ist nämlich der alte Stromlauf nicht geschlossen worden, indem man die Schliefsung derselben dem Strome überliefs, der auch jedesmal, sobald er das neue kürzere Bett verbreitet und vertieft hatte, das alte verflachte und wenigstens dessen beide Mündungen bald zur Verlandung brachte. Dicht unter der obern Mündung des Friesenheimer Durchstichs war dagegen der Rhein durch einen Faschinendamm künstlich gesperrt, über welchen der Strom so heftig hinüberstürzte, dafs die Schiffahrt im eigentlichen Strombett unterbrochen war. Der Durchstich war gleichfalls noch nicht zu passiren, und so mufsten alle Schiffe in dem engen Kanal längs des rechten Ufers fahren, wo eben wegen jener Coupirung eine überaus heftige Strömung sich gebildet hatte. Dieser Kanal, auf der Stromseite durch ein Parallelwerk aus Faschinen abgeschlossen, war 12 bis 20 Ruthen breit, und erstreckte sich von dem Unterwasser der Coupirung bis nahe an die Mannheimer Schiffbrücke, woselbst er sich trichterförmig erweiterte. Seine Länge betrug etwa 530 Ruthen.

In Betreff des Friesenheimer Durchstichs mufs noch erwähnt werden, dafs derselbe den Neckar nicht aufnimmt, indem er etwa 350 Pr. Ruthen oberhalb der Mündung des letztern vom Strom abgeht. Dieser Umstand ist gewifs für seine Ausbildung sehr nachtheilig.

Welche grofse Erfolge im Interesse der Landes-Cultur durch

diese Geradleitung des Rheins erzielt sind, ist bereits oben (§. 26.) näher nachgewiesen.

Endlich ist noch zu erwähnen, dafs auch im Grofsherzoglich Hessischen Gebiet eine sehr bedeutende Serpentine des Rheins, Darmstadt gegenüber, durch den Durchstich am Geyer im Jahre 1828 abgeschnitten ist. Dieser Durchstich hatte zwar bei der starken Abkürzung des Stromlaufs die Strömung aufgenommen, aber gleichwohl noch nicht die volle Breite erhalten.

§. 41.
Coupirungen.

Wenn man von zwei Stromarmen einen schliefsen will, so geschieht dieses entweder durch Anlagen, welche die Strömung darin mäfsigen und sonach die Verlandung befördern, oder durch unmittelbare Sperrung mittelst eines oder mehrerer Dämme, die man quer hindurchlegt. Vielfach wählt man das letzte Verfahren, wiewohl es in seinem Erfolg nicht unbedenklich, auch seine Durchführung schwierig ist. Schemerl meint sogar, dafs dieses Verfahren ganz verwerflich sei.

Die erste Methode ist, wie bereits (§. 25.) erwähnt, durchaus sicher und bei gehöriger Aufmerksamkeit auf das Verhalten des Stroms von den Uebelständen des letzten frei. Wo eine Spaltung sich gebildet hat, hängt die Stärke des Stroms in jedem Arme von dessen Capacität ab, d. h. von der Leichtigkeit, womit das Wasser sich darin bewegt. Diese wird durch die Gröfse der Querprofile und durch das relative Gefälle bedingt. Da aber beide Arme zusammen die ganze Wassermenge des Hauptstroms abführen, so vermehrt sich die Capacität des einen in demselben Maafse, wie man die des andern beschränkt. Der Umstand, dafs beide Arme neben einander bestehn und sich oft Jahrhunderte lang neben einander erhalten, zeigt, dafs keiner eine überwiegende Tendenz hat, den ganzen Strom aufzunehmen. Eine künstliche Einwirkung auf weitere Oeffnung oder Verengung des einen Arms pflegt daher gemeinhin, wenn sie auch an sich ziemlich geringfügig ist, schon das bisherige Gleichgewicht aufzuheben. Sobald man demjenigen

Arme, den man zum alleinigen ausbilden will, durch Correction der anschliefsenden Stromstrecken das Wasser gehörig zuweist, und es ohne scharfe Krümmung am untern Ende wieder abführt, und zugleich in dem andern Arm die Verlandung befördert, so vermehrt sich die Strömung im ersten Arme und vermindert sich in dem letzten. Hierdurch ist die Veranlassung zur weitern Verstärkung des Angriffs und sonach zur fernern Ausbildung von jenem gegeben, und in gleichem Maafse erfolgt die Verflachung in diesem. Auf solche Art kann man oft durch unbedeutende Anlagen das bisherige Gleichgewicht zwischen beiden aufheben und die beabsichtigte Umformung herbeiführen. Nach dem, was schon früher hierüber gesagt ist, werden die vorstehenden Andeutungen genügen, um die passenden Anordnungen jedesmal nach den besondern Local-Verhältnissen zu treffen. Man mufs dabei aber wieder die Bauwerke und Pflanzungen so anlegen, dafs das Hochwasser an den noch zu erhöhenden Stellen immer freien Zutritt behält.

In Betreff der eigentlichen Coupirungen, auch Enklavirungen genannt, oder der künstlichen Durchdämmungen der Stromarme entsteht zunächst die Frage, in welcher Höhe man sie anlegen soll. Ganz wasserfrei, also so hoch, dafs sie selbst bei den höchsten Anschwellungen nicht überfluthet werden, darf man sie schon deshalb nicht erbauen, weil das Terrain zu beiden Seiten, an welches sie sich anschliefsen, diese Höhe gewöhnlich nicht hat. Aufserdem aber würde diese Anordnung auch die Verlandung des Arms verhindern. Bei Anwendung des Faschinen- oder Packwerksbaues, wenn derselbe nicht etwa durch eine schwere Steindecke gesichert wird, mufs solche Höhe gewählt werden, in welcher die Weidenpflanzung gedeiht, welche die Krone der Coupirung sichert. Bei Steinschüttungen ist eine bestimmte Höhe nicht geboten und man kann diese beliebig wählen. Am angemessensten ist es alsdann, die Coupirung niedrig zn halten, und sie nur wenig Fufse über der Sohle des Stromarms vorragen zu lassen. In diesem Fall bewirken die Coupirungen nicht mehr eine plötzliche Sperrung der Arme, sondern verengen nur deren Profil und vermindern ihre Capacität. Sie sind daher starken Angriffen weniger ausgesetzt, dürfen folglich auch nicht so fest sein, wie bei gröfserer Höhe. Sie befördern aber dennoch die Verlandung, besonders in den obern Theilen der Stromarme, indem die schweren Stoffe, die der Strom

herbeiführt, davor liegen bleiben. Man kann sie auch später erhöhen, und dadurch nach und nach mit geringern Kosten ihnen diejenige Höhe geben, die vielleicht durch besondre locale Umstände geboten ist.

Dieses Verfahren empfiehlt sich vorzugsweise, wenn gröfsere Steine leicht zu beschaffen sind, doch sind statt solcher auch Senkfaschinen vortheilhaft zu verwenden. Man führt den Damm am zweckmäfsigsten unterhalb der tiefsten Stellen im Bette auf, und zwar so, dafs der Rücken der Schüttung in gleicher Höhe sich durch den Flufs zieht, während er nur wenige Fufs über die Sohle des natürlichen Bettes vortritt. Bei geringer Tiefe wird der Damm niedriger gehalten, entgegengesetzten Falls aber höher, denn es mufs eine gewisse Beschränkung des Profils erfolgen, die nicht so bedeutend sein darf, dafs sie einen förmlichen Wassersturz verursacht, sondern nur in der vorhergehenden Strecke einigen Stau erzeugt. Die obere Dossirung dieses Dammes mag ziemlich steil sein, die untere mufs man aber recht flach halten, so dafs sie nach Maafsgabe der Stärke des Stroms die drei- bis fünffache Anlage erhält. Die Krone selbst darf, wenn sie in dieser Weise sich an eine flache untere Böschung lehnt, nur eine geringe Breite von 3 bis 6 Fufs haben.

Diese ganze Anlage wird unter Wasser ausgeführt. Das dazu erforderliche Steinquantum mufs man vorher ermitteln, und beim Auswerfen der Steine durch fortgesetztes Peilen sich davon überzeugen, dafs das beabsichtigte Profil recht regelmäfsig gebildet wird.

Es könnte noch die Frage entstehn, ob es nicht vortheilhafter wäre, solche Coupirungen auf recht flache Stellen zu legen, weil die gleiche Steinmasse alsdann eine gröfsere Verengung des Strom-Profils verursachen würde. Diese Verengung vermehrt indessen die Strömung, und wenn der Arm an andern Stellen noch weit geöffnet und das Gefälle daselbst nur geringe ist, so concentrirt sich über einer solchen Coupirung leicht der gröfste Theil des Gefälles, und es bildet sich ein heftiger Wassersturz, der die Tiefe unterhalb noch vermehrt, also das Profil vergröfsert, und für das Werk selbst gefährlich wird. Wenn man dagegen eine tiefere Stelle wählt, so wird das Gefälle auf einem Punkt verstärkt, wo es früher nicht bedeutend war. Es vermindert sich alsdann über den flachern Stellen und dadurch wird auch die Wassermenge geringer, welche über

diese tritt, oder die Strömung wird in diesem Arme mäfsiger als früher, und verstärkt sich sonach in dem andern.

Am schwierigsten wird die Ausführung der Coupirungen, wenn der Stromarm für kleines Wasser vollständig geschlossen werden soll. Das Gefälle concentrirt sich alsdann an der Stelle, wo die Coupirung liegt, und der starke Wasserdruck erzeugt, wenn der Bau beinahe vollendet ist, eine sehr heftige Strömung, und eben so heftig ist der Uebersturz, wenn später ein höherer Wasserstand eintritt. Die Gefahr, dafs der Damm schon vor dem Schlufs, oder bei dem nächsten Hochwasser durchbrechen möchte, läfst sich dadurch ermäfsigen, dafs man statt einer Coupirung deren zwei oder noch mehrere hinter einander legt, wodurch das Gefälle vertheilt wird. Es bedarf indessen kaum der Erwähnung, dafs die Kosten der Anlage in gleichem Verhältnifs zunehmen. Bei reifsenden Strömen oder bei grofser Länge der Arme ist man freilich gezwungen, mehrere Coupirungen anzulegen, weil die einzelnen selbst bei grofser Kronenbreite und flacher untern Dossirung nicht den gehörigen Widerstand leisten, und beim Hochwasser durchbrochen werden. An der Mosel hat sich diese Nothwendigkeit vielfach herausgestellt.

Wenn man nur eine Coupirung ausführen will, und zwar in solcher Höhe, dafs die Strömung bei kleinem Wasser dadurch vollständig unterbrochen wird, so fragt es sich, an welcher Stelle sie am vortheilhaftesten anzulegen ist. Im mittlern Theil des Arms ist die Tiefe gemeinhin am gröfsten, wogegen beide Mündungen weniger tief zu sein pflegen. Der Bau ist daher in den meisten Fällen wohlfeiler, wenn man den Arm oben oder unten abschliefst. Man wählt gewöhnlich die untere Mündung, weil man annimmt, dafs dadurch die Verlandung am meisten befördert wird. Diese Ansicht ist gewissermaafsen richtig, denn alle diejenigen schweren Stoffe, welche sich längs des Strombetts fortbewegen, werden die steile obere Dossirung des Werks nicht ansteigen und sonach vor derselben liegen bleiben. Sie können also den am untern Ende abgeschlofsnen Arm während der Durchströmung des Hochwassers anfüllen, wogegen sie, wenn die obere Mündung durchbaut wäre, in diesen Arm gar nicht gelangen würden. Man darf indessen bei hohen Coupirungen ein starkes Eintreiben des schweren Materials in den geschlofsnen Arm überhaupt nicht erwarten, denn dieses kann nur durch eine heftige Strömung hineingetrieben werden, und eine

solche wird eben durch die hohe Coupirung verhindert. So lange diese mit ihrer Krone über Wasser liegt oder nur schwach überströmt wird, fehlt die Strömung in diesem Arm ganz oder ist doch nur sehr geringe. Sie verstärkt sich erst, wenn das Hochwasser die Krone weit überfluthet, aber auch alsdann bleibt sie gemeinhin geringer, als im andern Arm, woher dennoch die schwersten Steine und der gröbste Kies nicht hineinkommen.

Sodann findet man einen Vortheil der Durchbauung der untern Mündung auch darin, dafs die Vertiefung oder Auskolkung, welche das Hochwasser beim Uebersturz erzeugt, nicht mehr den Arm trifft, den man zur Verlandung bringen will, sondern den ungetheilten Strom. Dabei mufs aber darauf aufmerksam gemacht werden, dafs es bei der Wahl der Baustelle vorzugsweise darauf ankommt, die Coupirung auf beiden Seiten an feste Ufer anzuschliefsen, damit nicht etwa ein Durchbruch zur Seite erfolgt. Hiernach ist fast niemals Gelegenheit vorhanden, das Werk an die untere Spitze der Insel anzuschliefsen. Die durch den Uebersturz erzeugte Vertiefung trifft daher dennoch in den abgeschlofsnen Arm. Die Wahl zwischen der obern und untern Mündung wird indessen noch durch andre Umstände bedingt, von denen die leichte Ausführung und die Sicherstellung des Werks zum Theil abhängt.

Vorzugsweise kommt dabei das Gefälle in Betracht, welches in dem zu coupirenden Stromarm liegt. Dasselbe vergröfsert sich sogar etwas, sobald die ganze Wassermasse durch den andern Stromarm fliefsen mufs. Fig. 156. *a* zeigt eine Insel nebst den beiden Stromarmen, von welchen der linke geschlossen werden soll. Im letzten sind zwei Coupirungen angedeutet, die eine am obern, die andre am untern Ende. Wenn man nur eine Coupirung ausführt, wird sich an derselben bei kleinem Wasser das ganze Gefälle concentriren, weil die Strömung in dem Arm vollständig aufhört, und sonach dessen oberer und unterer Theil sich in das Niveau des Stroms vor und hinter der Insel stellen. Legt man die Coupirung oben an, so hat man im ganzen Arm Unterwasser, dagegen hebt sich der Wasserstand darin bis zum Oberwasser, wenn die Coupirung neben der untern Mündung erbaut wird. Liegt der untre Theil der Insel unter dem Oberwasser, wie Fig. 156. *b* im Längenprofil zeigt, so verbietet sich dadurch schon die Verlegung des Werks an die untre Mündung, weil alsdann das Wasser über die Insel ab-

fliefsen würde. Aber wenn dieses auch nicht geschieht, so entsteht dennoch die Frage, ob der höhere Wasserstand, der in diesem Falle sich einstellt, vielleicht den Ertrag der Insel oder des Ufers beeinträchtigen kann. Begründet sich eine solche Besorgnifs, so mufs man entweder das Werk weiter heraufrücken, oder durch Eindeichungen dem nachtheiligen Einflufs der Anspannung des Wassers begegnen.

Die Höhe der Coupirung ist auch von der Wahl der Baustelle abhängig. Will man die Krone etwa zwei Fufs über den niedrigsten Wasserstand legen, während an beiden Stellen die Wassertiefen gleich sind, so ist die ganze Höhe des Werks in der Nähe der untern Mündung um das absolute Gefälle des Stromarms gröfser, als wenn man die obere Mündung wählt.

Der Mehrbedarf an Material ist in diesem Falle um so bedeutender, als auch die Dossirungen bei gleicher Kronenbreite um so weiter vortreten.

Eine andre besonders wichtige Rücksicht bei der Wahl der Baustelle ist diese, dafs das Werk zu beiden Seiten sich an gehörig hohe und feste Ufer anschliefsen mufs. Dieselben müssen höher sein, als die Krone der Coupirung, damit der stärkste Strom bei hohem Wasser im alten Arm bleibt und nicht etwa, durch die Coupirung unterbrochen, sich seitwärts über Wiesenflächen oder Saatfelder ergiefst. Derselbe Erfolg würde auch eintreten, wenn die Coupirung sich nur gegen ein unbefestigtes Sandfeld lehnte, das dem Angriff des Stroms keinen Widerstand leistet. Es geschieht nicht selten, dafs diesen Bedingungen nicht zu genügen ist, indem die Insel aus einer niedrigen, oder wenigstens nicht gehörig bewachsenen Sandablagerung besteht. Will man alsdann dennoch die Coupirung in gröfserer Höhe ausführen, so bleibt nichts übrig, als durch passende Pflanzungen die Insel vorher vorzubereiten und den gehörigen Anschlufspunkt künstlich zu bilden. Dabei wird aber auch darauf Rücksicht genommen werden müssen, den Uebersturz des Wassers über die Insel zu verhindern und sonach auf derselben, und zwar in ihrer ganzen Länge, einen erhöhten Rücken darzustellen.

Die Coupirungen werden gemeinhin in geraden Linien, und zwar normal gegen den Strom erbaut. Zuweilen ist es aber Absicht, die ganze Insel abtreiben zu lassen, indem die Uferlinie des

ungetheilten Stroms in die Nähe des alten Arms trifft. In diesem Falle verwandelt die Coupirung sich später in eine Buhne. Man giebt ihr alsdann schon eine solche Richtung, wie sie nach dieser Veränderung am passendsten sein würde, also eine stromaufwärts gekehrte, oder inclinante.

Derselbe Grund, der für Buhnen die inclinante Richtung vorzugsweise empfiehlt, spricht auch dafür, die beiden Enden der Coupirung stromaufwärts zu kehren, oder die Coupirung selbst in gleicher Weise, wie zuweilen bei Wehren geschieht, in einem stromaufwärts gekehrten Bogen zu erbauen. Fig. 157. auf Taf. XIX. zeigt diese Anordnung. Man erreicht dabei den Vortheil, dafs die Ufer durch das überstürzende Wasser nicht leiden, dasselbe vielmehr von beiden Seiten nach der Mitte des Bettes gewiesen wird.

Wenn die Coupirungen zugleich Leinpfadsdämme sind, in welchem Falle man sie auch Leinpfads-Coupirungen nennt, dürfen sie sich von der Richtung des Fahrwassers nicht weit entfernen, weil sonst die Pferde einem zu starken Zuge von der Seite ausgesetzt würden und leicht herabgezogen werden könnten. Man mufs alsdann die Coupirung sehr schräge über den zu schliefsenden Arm führen, wobei es nicht fehlen kann, dafs das an ihrem obern Ende überstürzende Wasser entweder die Insel oder das Ufer trifft und starke Abbrüche verursacht. In solchem Falle dehnt sich der Uferbruch häufig so weit aus, dafs die Coupirung vom Ufer getrennt wird, und der Strom hinter ihrer Wurzel in den abgeschlofsnen Arm fällt. Man verhindert dieses am einfachsten durch das Anschlufswerk *A* Fig. 158., welches das Hauptwerk unterstützt und vor sich den Wasserspiegel so weit hebt, dafs der gefährliche Uebersturz aufhört.

Um den Beschädigungen der Ufer durch das überstürzende Wasser zu begegnen, und um die Strömung möglichst in die Mitte des Betts zu weisen, pflegt man auch die Coupirung in ihrer ganzen Länge nicht in gleicher Höhe auszuführen, sondern sie in der Mitte etwas zu senken, so dafs sie hier ungefähr um einen Fufs tiefer liegt, als an beiden Enden. Jedenfalls müssen aber auch diese niedriger, als die Ufer sein.

Die Construction solcher Coupirungen, die über das kleinste Wasser vorragen, stimmt mit der beim Buhnenbau beschriebnen genau überein. Die Schwierigkeiten in der Ausführung und Unter-

haltung der Coupirungen sind aber weit gröfser. Man mufs daher jede mögliche Vorsicht anwenden, um eines Theils während des Baues den Wirkungen des heftigen Stroms zu begegnen und namentlich eine starke Vertiefung des Bettes zu verhindern, andern Theils aber auch um das fertige Werk vor einem Durchbruch zu sichern. Ein solcher ist besonders in Folge der Auskolkung an der untern Seite durch den Uebersturz des Wassers zu besorgen.

Die massiven Coupirungen bestehn im Innern aus Steinschüttung, und sind in der Krone und im obern Theil der Dossirungen gepflastert. Auf grofse Kronenbreite kommt es bei ihnen weniger an. Die Breite von 6 oder höchstens von 12 Fufs dürfte in allen Fällen genügen. Am meisten sorgt man für ihre Sicherheit, wenn man die stromabwärts gekehrte Dossirung recht flach hält und derselben eine vierfache oder mindestens dreifache Anlage giebt. Aufserdem darf ein Sturzbett zur Sicherung des Fufses dieser Dossirung nie fehlen, welches nach Umständen eine Breite von mehreren Ruthen enthält. Dasselbe mufs tiefer, als das Unterwasser liegen, damit das Wasser beim Abfluſs von demselben keinen neuen Sturz bildet. Dieses Bett senkt sich aber gemeinhin nicht unbedeutend, indem das herabstürzende Wasser den Sand und Kies darunter fortspült. Dasselbe kann daher bei der ersten Anlage, und zwar besonders wenn die Wassertiefe nur geringe ist, nicht sogleich in der erforderlichen Stärke dargestellt werden, und mufs später, sobald es sich gesenkt hat, noch erhöht werden. Es ist aber nothwendig, längere Zeit hindurch für die Unterhaltung dieses Sturzbettes Sorge zu tragen, weil hiervon vorzugsweise die Sicherheit der ganzen Coupirung abhängt. Die obere Dossirung darf ziemlich steil sein, es genügt also meist die $1\frac{1}{2}$fache Anlage. Die Krone wird gepflastert, und das Pflaster lehnt sich, wie bei Steinbuhnen, auf beiden Seiten gegen Bankete, die in der Höhe des niedrigsten Wassers liegen.

In Betreff der Ausführung der massiven Coupirungen ist wenig zu erwähnen. Die Anwendung von feinem Material ist nicht statthaft, weil der starke Wasserdruck davor den im Werke eingeschlofsnen Sand fortspülen könnte. Sobald aber die obere Steindecke und das Pflaster ihre Unterstützung verlieren, so versinken sie und es ist dadurch die erste Veranlassung zur Zerstörung des Werks gegeben. Besteht dagegen der ganze innere Körper aus gro-

ber Steinschüttung, so dringt freilich das Wasser durch die weiten Zwischenräume derselben noch stark hindurch, für das Werk selbst ist dieses aber ohne Nachtheil, indem keine Veränderung darin vorgeht und kein Theil desselben fortgerissen werden kann. Der dadurch veranlafste Wasserverlust des Hauptarms kann freilich unter Umständen nachtheilig erscheinen, man begegnet demselben aber sehr leicht, wenn man nach Beendigung der Schüttung die obere Dossirung mit Sand oder Erde überdeckt.

Da der Bau aufserordentlich erschwert wird, wenn während dessen Ausführung eine starke Vertiefung eintritt, so mufs grofse Vorsicht angewendet werden, um dieses zu verhindern. Es ist daher ganz unpassend, die Schüttung des Steindamms in seiner vollen Höhe an beiden Enden zu beginnen und in der Mitte zum Schlufs zu bringen. Bevor eine starke Beschränkung des Profils erfolgt, mufs vielmehr der Grund vollständig gesichert sein, was durch Steinschüttung leicht zu erreichen ist. Versäumt man dieses, so vergröfsert sich die Tiefe vor der noch nicht geschlofsnen Durchflufsöffnung, und ein bedeutender Mehrbedarf an Material und Arbeitskräften ist die unausbleibliche Folge, wenn das Bett nicht aus gewachsenem Felsen besteht. Am angemessensten ist es, durch möglichst gleichmäfsiges Anschütten von Steinen ein festes Grundbett durch den ganzen Strom, und zwar in der Breite der Coupirung mit Einschlufs des Sturzbettes darzustellen. Besorgt man, dafs dennoch eine Ausspülung erfolgen möchte, so kann man an derjenigen Stelle, wo man den Damm zum Schlufs bringen will, diese Schüttung besonders stark machen, oder auch recht schwere Steine daselbst verwenden. Es empfiehlt sich aber besonders, die Schüttung bis zur Vollendung des ganzen Dammes immer in gleicher Höhe zu erhalten, und sonach die Concentrirung des Stroms auf eine einzelne Stelle zu vermeiden, wenn man nicht etwa in den obern Lagen hiervon abgehn will, um, wie bereits erwähnt, die Krone in ihrer Mitte etwas zu senken.

Bei losem Boden pflegt die Steinschüttung anfangs stark zu versacken und die einzelnen Steine dringen oft tief in das Bett ein. Um dieses zu verhindern, pflegt man ein Buschbett oder eine Senklage (§. 36.) vor Ausführung der Steinschüttung als Fundament derselben quer durch den Strom zu legen, und es hinreichend mit Steinen zu beschweren.

Wo der Preis gröfserer Steine sich sehr hoch stellt, kann man statt derselben vortheilhaft auch Senkfaschinen verwenden, wie dieses in neuerer Zeit bei Ausführung von Coupirungen vielfach und selbst in Gebirgsgegenden geschieht. Ueber die Art ihrer Verwendung ist nach dem, was §. 32. gesagt ist, nichts hinzuzufügen, und die Anordnung des ganzen Baues ist dieselbe, wie bei Stein-Constructionen.

In früherer Zeit erbaute man die Coupirungen vielfach aus Packwerk, was auch gegenwärtig noch zuweilen geschieht. Das geringe Gewicht der Faschinen, die in starker Strömung leicht fortgerissen werden, und selbst fortschwimmen, bietet aber nicht nur während der Ausführung grofse Schwierigkeit, sondern das fertige Werk bedarf auch, um den nöthigen Widerstand zu leisten, gröfserer Dimensionen. In Betreff der Lage, Richtung und Höhe des Dammes gelten dieselben Regeln, wie für den Steinbau. Nur wenn keine Steindecke angebracht werden soll, mufs die Höhenlage so bestimmt werden, dafs das Strauch auswachsen kann. Die Kronenbreite pflegt man in diesem Fall viel gröfser anzunehmen und sie mindestens der ganzen Höhe des Werks gleich, oft aber noch um die Hälfte gröfser zu machen. Es begründet sich diese Vorsicht durch den Umstand, dafs beim reinen Faschinenbau die Dossirungen nur die einfache Anlage erhalten können. Aufserdem ist die Anbringung eines Sturzbettes dringend nöthig, um ein tiefes Auswaschen des Grundes unterhalb der Coupirung zu verhindern. Das Sturzbett kann aber nicht anders als durch Steine beschwert werden.

Was über die Sicherung des Flufsbetts gegen Vertiefung während des Baues bei Gelegenheit der Buhnen gesagt ist, gilt ganz besonders auch für Coupirungen, die aus Packwerk bestehn. Man wendet zu diesem Zweck Senklagen, Senkstücke und in neuerer Zeit vorzugsweise Senkfaschinen an. Das Beschwerungs-Material der ersteren mufs aus gröfsern Steinen bestehn, die vom Strom nicht fortgetrieben werden. Man kann aber die Kosten dieser Sicherungs-Maafsregel dadurch ermäfsigen, dafs man die Senklage nur an denjenigen Stellen mit dem gröfsten und schwersten Material bedeckt, wo die Coupirung zum Schlufs gebracht werden soll, oder wo die härteste Strömung zu erwarten ist. Wie die Durchflufsöffnung nach und nach sich vermindert, so hebt der Wasser-

stand sich oberhalb des Dammes und die Geschwindigkeit der Strömung verstärkt sich. Dieselbe wird zuweilen so heftig, dafs sie selbst gröfsere Steine in Bewegung setzt, und um so kräftiger wirkt sie auf das Strombett ein. Die Vertiefung, welche sich alsdann bildet, hat wieder einen vermehrten Materialbedarf zur Folge, und letzterer steigert sich um so mehr, je länger der endliche Abschluſs sich verzögert. Das Vorhandensein eines reichlichen Vorraths an Material und genügender Arbeitskräfte ist daher dringendes Bedürfniſs, überdieſs muſs aber auch die Ausführung und das Ineinandergreifen aller Arbeiten sorgfältig vorbereitet sein. Es ist nicht zu leugnen, dafs manche Coupirung nur deshalb mifslungen ist, weil schliefslich bei zunehmender Gefahr Anordnungen getroffen wurden, die nicht zum Ziel führen konnten.

Bei Anwendung des Packwerksbaues zu Coupirungen wird dasselbe Verfahren, wie bei Ausführung der Buhnen beobachtet. Man kann dabei nicht, wie bei Steinschüttungen, das Werk allmählig in seiner ganzen Länge gleichmäfsig aufführen, man muſs vielmehr die schwimmenden Lagen jedesmal an einen Theil des Werks anschliessen, der bereits über das Wasser heraufreicht und gehörig comprimirt ist.

Zuweilen wird zur möglichsten Beschleunigung des Baues von beiden Ufern aus gleichzeitig die Ausführung begonnen und gleichmäfsig fortgesetzt Daraus entsteht der Uebelstand, dafs, selbst wenn keine Vertiefung und keine starke Strömung eintritt, der regelmäfsige Fortgang der Arbeit dennoch gestört wird, sobald die Ausschüsse der schwimmenden Lagen sich berühren. Fig. 159. zeigt, dafs die Verbindung und selbst das stumpfe Zusammenstofsen zweier gleichzeitig ausgeführter Packwerke unmöglich ist, indem der dazwischen bleibende Raum nicht gefüllt werden kann, selbst wenn keine sonstigen erschwerenden Umstände eintreten. Wenn aber noch eine heftige Strömung sich bildet, was bei Coupirungen fast immer der Fall ist, und man keine Vorkehrungen getroffen hat, um während dieser Zeit die Vertiefung des Grundes zu verhindern, so sieht man leicht, wie schwierig und gefährlich die Verhältnisse sich gestalten müssen. Die schwimmenden Lagen verhindern auch, eine Deckung des im starken Angriff liegenden Bettes nachträglich vorzunehmen. Ist man in solcher unüberlegten Weise vorgegangen, und es tritt nunmehr die heftige Strömung ein, so bleibt nichts

übrig, als durch schleuniges Aufpacken von Material wenigstens in der Oberfläche den Schluſs darzustellen, und sobald dieses geschehn ist, durch fortgesetztes Rammen die untern Lagen auseinander zu reiſsen, um auch in der Tiefe die Oeffnung zu schlieſsen. Wenn hierbei groſse Faschinen-Massen fortgetrieben werden, und es an Material fehlt, um den Bedarf zu decken, worauf endlich der in seiner Zusammensetzung schon gelockerte Bau vollständig durchbrochen wird, so ist dieses nur die natürliche Folge der ganz unpassenden Anordnung.

Es muſs noch erwähnt werden, daſs man zuweilen zur Schliessung der in der Tiefe befindlichen Oeffnung auch zu ungewöhnlichen Mitteln gegriffen hat. Hierher gehört zunächst das Versenken von Schiffen, die mit Steinen belastet waren. Wenn dieses in der Richtung der Oeffnung und in angemeſsner Entfernung im Oberwasser geschieht, so faſst der heftige Strom das Fahrzeug, und drückt es kräftig gegen die obere Dossirung des Dammes, doch hängt es vom Zufall ab, ob die Oeffnung dadurch hinreichend geschlossen wird, oder nicht. Ein andres Verfahren, das mehrfach mit günstigem Erfolg angewendet sein soll, besteht darin, daſs man von dem über Wasser bereits zusammenhängenden Damme aus über der Durchfluſsöffnung, die sich im Oberwasser durch die trichterförmig wirbelnde Vertiefung zu erkennen giebt, eine hinreichend breite Senklage gegen den Strom in gewöhnlicher Art ausführt. Dieselbe ruht in stehendem Wasser, doch muſs sie hinreichend stark sein, um nicht herabgezogen zu werden. Sobald sie die nöthige Länge hat, um nicht nur die Dossirung vollständig zu decken, sondern auch auf das Strombett herabzureichen, so wird sie durch möglichst rasches Aufbringen von Steinen beschwert, und indem sie versinkt, legt sie sich vor die Oeffnung. Ein vollständiger Schluſs ist freilich auf diesem Wege nicht zu erwarten, doch wird der Strom dadurch gemäſsigt, so daſs nunmehr auf der obern Seite des Dammes die Schlieſsung möglich wird. Fig. 160. *a* und *b* zeigt in der Ansicht von oben und im Durchschnitt diese Anordnung, die man eine Schürze nennt.

Manche Hydrotecten empfehlen, die starke Vertiefung dadurch zu verhindern, daſs man die Coupirung in der obern Mündung des Nebenarms in der Art erbaut, daſs sie sich in ein Uferdeckwerk

des Hauptarms fortsetzt. *) Man meint, dafs sie in diesem Falle keinem besonders starken Angriff ausgesetzt sei, und da die Tiefe an dieser Stelle nur geringe zu sein pflegt, so soll zuweilen eine solche Coupirung verbunden mit einer zweiten, die man später am untern Ende des Arms erbaut, wohlfeiler werden, als wenn man die untere, während der Arm oben noch nicht gesperrt war, allein ausgeführt hätte.

Später hat Schemerl **) noch die Fig. 161. dargestellte Anordnung angegeben. Die beiden Theile des Werks sollen nämlich so gelegt werden, dafs sie neben einander vorbeigreifen. Ein wesentlicher Vorzug dieser Methode gegen die gewöhnliche beruht darauf, dafs die einzelnen Lagen regelmäfsig herabsinken können und ihre Verbindung während des Versenkens nicht aufgehoben werden darf. Nach Schemerl's Vorschlag soll auch die übrig bleibende Oeffnung zwischen beiden Theilen nicht geschlossen werden, sondern zur Beförderung der Verlandung des ganzen Arms offen bleiben. Der hindurchgehende Strom kann aber keine grofse Vertiefung erzeugen, in sofern die beiderseitigen Dossirungen sich berühren und gehörig gesichert sind. Die Richtung desselben ist überdies stark seitwärts gekehrt, woher er schon aus diesem Grunde nicht besonders heftig werden kann. Gleichwohl möchte es nothwendig sein, das Ufer, dem er zugekehrt ist, gegen Abbruch zu sichern.

Wenn man, wie gewöhnlich, von einer solchen Oeffnung absieht, und durch Packwerksbau einen zusammenhängenden Coupirungsdamm bis über Wasser ausführen will, so ist zunächst, wie bereits erwähnt, für hinreichendes Material, genügende Arbeitskräfte und Utensilien, wie Kähne u. dergl. zu sorgen. Sodann mufs man jede Unterbrechung der Arbeit, namentlich zur Zeit der Schliefsung des Dammes vermeiden. Es empfiehlt sich daher, den Bau kurz vor Vollmond in Angriff zu nehmen, damit er auch während der Nächte fortgeführt werden kann. Die Anordnung ist aber in der Art zu treffen, wie Fig. 162. im Profil zeigt. Beide Arme der Coupirung werden direct gegen einander geführt, so dafs sie sich zu

---

*) Schemerl, Abhandlung über die vorzüglichste Art, an Flüssen und Strömen zu bauen. Wien 1782. — §. 65.

**) Erfahrungen im Wasserbau, Band I. Wien und Triest 1809.

einem Damme von gleicher Breite vereinigen. Der Unterschied gegen die beschriebne Construction besteht nur darin, dafs der Bau der beiden Theile des Werks nicht gleichzeitig ausgeführt wird, vielmehr in jedem derselben die Lagen gehörig versenkt werden können. Man beginnt den Bau an demjenigen Ufer, wo der heftigste Angriff besorgt werden mufs, und führt ihn von hier nur so weit heraus, dafs er noch keine starke Verengung des Profils veranlafst. Besonders ist aber darauf zu sehn, dafs dieser Theil des Werks vor dem Kopf eine recht flache Dossirung, also mindestens vierfache Anlage erhält. Eine Beschwerung mit Steinen ist dabei nicht zu umgehn, doch ersetzt dafür diese Dossirung schon die Senklage, welche behufs Sicherung des Betts sonst erforderlich sein würde. Der andre Theil der Coupirung darf nicht früher begonnen werden, als bis der erste entweder ganz beendigt, oder doch so weit gediehen ist, dafs eine Berührung der beiderseitigen schwimmenden Lagen nicht mehr zu besorgen, auch die Beschwerung mit Steinen vollständig erfolgt ist, oder vor der Annäherung des zweiten Theils sicher erfolgen kann. Letzterer wird alsdann in gewöhnlicher Weise ausgeführt. Wenn man hierbei auch keineswegs vor allen Zufälligkeiten in Folge der verstärkten Strömung gesichert ist, so hat jedenfalls diese Methode den grofsen Vorzug, dafs man an der gehörigen Verlängerung der Lagen nicht gehindert wird, und dafs zugleich beim Eintritt der stärksten Profilverengung die Lagen des zweiten Theils über den bereits fertigen Theil greifen und sonach ein Ausspülen des Grundes nicht möglich ist. Die Figur zeigt an der linken Seite den bereits fertigen und mit Steinen beschwerten Theil des Baues, rechts dagegen die noch schwimmenden Lagen des andern Theils.

Man hat vielfach statt des Packwerks- den Senkstückbau bei Ausführung der Coupirungen angewendet. Ueber letzteren ist bereits §. 37. Einiges mitgetheilt, was zum allgemeinen Verständnifs genügen wird, wenn auch die Details der Construction und der fernern Behandlung erst im See- und Hafenbau die passende Stelle finden.

So lange der Querschnitt des Senkstücks im Vergleich zu der noch frei bleibenden Profilöffnung nur geringe, auch die Strömung nur mäfsig ist, so pflegt die Versenkung keine besondre Schwierigkeit zu machen, und man erreicht dabei den Vortheil, dafs eine

grofse Fläche des Betts durch ein Stück gedeckt wird. Die einzelnen Senkstücke lassen sich indessen, wenn man sie auch möglichst nahe neben einander legt, nicht in Verbindung bringen, und gewöhnlich bleiben weite Stofsfugen dazwischen offen. Auf die Ausfüllung derselben, besonders derjenigen, die dem Strom parallel gerichtet sind, mufs man sehr aufmerksam sein, weil sonst eine heftige Strömung hindurchzieht, die leicht eine starke Vertiefung verursacht und dadurch für das ganze Werk verderblich wird. Oft legt man mehrere Schichten Senkstücke übereinander, und sorgt für die gehörige Abwechselung der Fugen in denselben. Jene Gefahr wird indessen hierdurch keineswegs beseitigt, vielmehr sogar vergröfsert, denn wenn die Rinne bedeckt ist, so kann man sie nicht mehr durch Steine oder Senkfaschinen schliefsen, was sonst möglich gewesen wäre. Es ist daher dringend nöthig, diese Fugen oder Rinnen durch Nachschütten von schwerem Material vollständig zu schliefsen, bevor man die folgende Lage der Senkstücke aufbringt.

Bei Beobachtung dieser Vorsichtsmaafsregel ist der Senkstückbau bei Coupirungen wohl zulässig, wie er in der That bereits mit Erfolg zu diesem Zweck angewendet worden. Die Untersuchung und Ausfüllung der Fugen ist indessen nicht leicht, woher diese Bauart keine überwiegenden Vorzüge vor einem sorgfältig angeordneten Packwerksbau zu haben scheint, der einen ununterbrochenen Zusammenhang im ganzen Werke darstellt. Dazu kommt noch, dafs die Fuge, wenn sie ursprünglich auch geschlossen war, sich später wieder öffnen kann. Bei Ausfüllung mit Steinen darf man dieses freilich weniger besorgen, aber leichtes Material und namentlich Erde und Sand kann geringe Wasseradern hindurchlassen, die anfangs unscheinbar sind, aber dennoch sich nach und nach erweitern und vielleicht plötzlich die letzten Widerstände überwinden, und ganz unerwartet bei einem Hochwasser als starke Strömungen durchbrechen. So hatte eine aus Senkstücken erbaute Coupirung bereits manches Hochwasser ausgehalten, ohne Besorgnifs zu erregen, brach aber plötzlich durch, indem einige Senkstücke fortschwammen. Zum Versenken der einzelnen Stücke hatte man aber in diesem Falle wahrscheinlich nur Erde verwendet.

Eine eigenthümliche Anwendung des Senkstückbaues zur Coupirung von Flufsarmen ist einst von Funk versucht worden. Funk

erwähnt selbst dieses Versuchs *), sagt auch, dafs er mifslang, seine Mittheilung ist indessen zu kurz, als dafs man die Anordnung des Baues und den Grund des Mifsglückens daraus ersehn könnte. Die Absicht war keine andre, als mittelst eines einzigen Senkstücks den ganzen Stromarm auf einmal zu schliefsen, und dadurch den Schwierigkeiten zu begegnen, die sonst während der Ausführung eines solchen Baues einzutreten pflegen. Noch dreifsig Jahre später hörte ich mehrfach von diesem mifsglückten Bau sprechen, und da ich bestimmte Nachrichten darüber zu haben wünschte, so machte ein alter Kribbmeister, der bei diesem Bau mitgearbeitet hatte, die folgende Mittheilung. Seine Erzählung erscheint aber in sofern durchaus glaubwürdig, als er die Dimensionen des Senkstücks ziemlich übereinstimmend mit den von Funk bezeichneten angab.

Die Weser war in der Nähe von Wietersheim, etwa eine Meile unterhalb Minden, in zwei Arme getheilt. Der linke bildete das eigentliche Fahrwasser, doch versandete dieses nach und nach so sehr, dafs die Schiffe endlich den stark gekrümmten rechten Arm noch leichter, als den linken befahren konnten. Man entschlofs sich daher im Jahre 1805 den rechten Arm zu schliefsen, und zwar sollte dieses, wie erwähnt, durch ein einziges Senkstück, und zwar wahrscheinlich an der schmalsten Stelle des Arms geschehn. Zuvor wurde der linke Arm theils durch Aufgraben und theils durch Baggern vertieft, damit die Schiffe ihn wieder passiren konnten.

Etwa 20 Ruthen oberhalb der Stelle, wo die Coupirung liegen sollte, wurde das Senkstück auf einer geneigten Rüstung am linken Ufer des Arms, also auf der Insel selbst erbaut. Das Stück war nach der Mittheilung des Kribbmeisters 85 Fufs lang, in der Krone 12 Fufs breit und an beiden Seiten mit einfacher Anlage geböscht. Seine Höhe betrug durchschnittlich 8 Fufs. Funk giebt dagegen die Dimensionen etwas anders an, indem er sagt, das Stück sei 84 Fufs lang, 28 Fufs breit und zwischen 6 und 10 Fufs hoch gewesen. Es wurde parallel zum Ufer erbaut und mufste daher, sobald es auf dem Wasser schwamm, eine Schwenkung machen, um das Profil zu sperren. Um es anzuhalten, sobald es die Stelle erreicht hatte, wo es versenkt werden sollte, wurden zwei Reihen

*) Beiträge zur allgemeinen Wasserbaukunst, Lemgo 1808, Seite 330 in der Anmerkung.

buchener Pfähle von Fahrzeugen aus eingerammt. Die Pfähle waren 15 bis 18 Zoll stark, reichten etwa 10 Fufs in den Grund, und standen so nahe, dafs ihre lichte Entfernung nur etwa 1½ Fufs betrug. Der Zimmermeister, der die Rammarbeit leitete, machte den Vorschlag, die Pfahlreihen zu verholmen und durch Verstrebungen zu sichern. Diese Vorsichtsmaafsregel wurde indessen für überflüssig erachtet und unterblieb.

Auf jedes Ende des Senkstücks waren mehrere Pfähle eingeschlagen und hieran Taue befestigt, die theils vom rechten, theils vom linken Ufer aus durch Menschen gehalten wurden, und zwar sollen etwa 70 Mann an jedem Ufer gewesen sein. Als das Stück schwamm, ragte es ungefähr 2 Fufs über das Wasser vor. Das linke Ende desselben wurde festgehalten, das rechte dagegen herübergezogen. Der Strom faſste das Stück sogleich, und vollendete beinahe die beabsichtigte Drehung. Kaum lag es jedoch ungefähr quer über den Strom, als es das Wasser oberhalb aufstaute und zwar so stark, dafs die Insel, die früher noch 1½ Fufs über Wasser gewesen war, plötzlich 1 Fufs hoch überfluthet wurde. Die daselbst befindlichen Arbeiter erschreckt, und auf ihre Rettung bedacht, liefsen das Tau los, welches sie doch nicht halten konnten. Auch auf der andern Seite wurde das Tau fortgerissen und das Stück trieb schnell den Strom herunter. Das linke Ende erreichte zuerst die Pfahlreihen. Diese leisteten aber nicht den mindesten Widerstand, und mit lautem Krachen brachen die Pfähle sehr schnell, einer nach dem andern, wie Zündhölzer ab. Das Senkstück durchschwamm den ganzen Arm und trieb noch etwa 10 Ruthen weiter im ungetheilten Strom fort, bis es auf eine Kiesbank vor dem rechten Ufer auflief, wo es liegen blieb. An ein Zurückbringen war nicht zu denken. Die obersten Faschinen wurden daher, soweit sie über Wasser lagen, ausgehoben, bei weitem der gröfste Theil derselben konnte aber nicht entfernt werden und versandete bald. — Kurze Zeit darauf wurde der Arm auf die gewöhnliche Art geschlossen, und diese letzte Coupirung ist unter dem Namen der Prangen-Schlacht den Schiffern und Anwohnern noch heute bekannt, wiewohl sie bei der sehr vollständigen Verlandung des Arms schon lange nicht mehr sichtbar ist.

Wenn die Coupirungen in gewöhnlichem Packwerk oder auch mit Senkfaschinen oder Senkstücken ausgeführt werden, so sind sie

keineswegs wasserdicht. Man darf aber nicht hoffen, dafs in ähnlicher Weise, wie bei einer niedrigen Steinschüttung, die Zwischenräume sich bald mit feinen erdigen Theilen anfüllen, weil das hohe Werk bei kleinem Wasser und selbst bei höhern Anschwellungen, wobei es schon stark überströmt wird, dennoch einen bedeutenden Stau erzeugt und in Folge desselben stark durchströmt wird. Diese Durchströmung ist für das Packwerk wesentlich nachtheilig und gefährlich, besonders wenn das Senkmaterial leicht ist und sonach ein Ausspülen besorgt werden kann. Man pflegt daher, wie das Profil Fig. 163. zeigt, vor der Coupirung noch eine starke Erdschüttung anzubringen. Dieselbe ist gewöhnlich in der Krone nur 6 Fufs breit, da sie aber eine zweifache oder wenigstens eine ein und einhalbfache Anlage erhalten mufs und der Faschinenkörper nur die einfache hat, so nimmt ihre Breite nach unten stark zu.

Zum Schutz des Werks wird häufig nur eine Rauhwehr auf der Krone und, soweit es geschehn kann, auf den Dossirungen angebracht. Sicherer ist es aber, eine Steindecke dafür zu wählen.

Achter Abschnitt.

Stau-Anlagen.

§. 42.

Anordnung der Stau-Anlagen.

Die Stau-Anlagen bilden mit den zugehörigen Vorkehrungen zur Abführung des Hochwassers eine wichtige Klasse von Bauwerken. Sie sind nicht nur in gleicher Weise, wie die Stromregulirungs-Bauten, für die Landes-Cultur und die Schiffahrt von Nutzen, sondern aufserdem dienen sie auch zu industriellen Zwecken, indem fast alle Wassermühlen nur durch künstlich aufgestautes Wasser betrieben werden.

An grofsen Strömen kommen sie selten vor, dagegen finden sie sich häufig an Bächen und Flüssen. Indem sie den Wasserspiegel vor sich erheben, oder das Wasser anstauen, so vermindert sich das Gefälle weiter aufwärts, und während dieses sonst mehr oder weniger gleichmäfsig auf eine gröfsere Länge des Flusses vertheilt war, so concentriren sie es an denjenigen Stellen, wo sie erbaut sind. Hierdurch bildet sich jedesmal eine bedeutende Niveau-Differenz zwischen Ober- und Unterwasser, die zur Anlage von Mühlen und andern Wasserwerken Gelegenheit giebt. Demnächst kann das gehobne Oberwasser auch auf die niedrigen Ufer zur Seite geleitet werden, und zur Bewässerung derselben dienen. Für die Schiffahrt sind die Stau-Anlagen aber in sofern sehr wichtig, als sie vor sich einen höhern Wasserstand erzeugen und sonach eine gröfsere Fahrtiefe darstellen. Aufserdem bedingt die hieraus hervorgehende Vergröfserung des Profils auch eine verhältnifsmäfsige Verminderung der Geschwindigkeit, wodurch die Schiffahrt gleichfalls erleichtert wird. Die Verminderung des relativen Gefälles in der Flufsstrecke oberhalb der Stau-Anlage hängt hiermit zusammen, und kann als unmittelbare Folge der geringern Geschwindigkeit an-

gesehn werden. In sofern nämlich die Wassermenge des Flusses vom Stau unabhängig ist, und nach der Anlage eben so grofs bleibt, wie sie früher war, so bildet sich in jedem Profil dasjenige Gefälle, welches zur Darstellung der erforderlichen mittlern Geschwindigkeit nothwendig ist.

Der Zweck der Stau-Anlagen ist hiernach wesentlich verschieden von dem der Coupirungen. Wenn letztere allerdings zuweilen auch einigen Stau erzeugen, so ist dieser doch nicht dauernd, und gemeinhin senkt sich das Wasser oberhalb derselben mit der Zeit sogar tiefer, als vor der Anlage, weil der ausgebildete übrig bleibende Arm es leichter abführt, als dieses früher durch beide Arme geschah. In der Ausführung sind beide Arten von Bauwerken oft wenig verschieden und stimmen sogar zuweilen vollständig mit einander überein. Im Allgemeinen erfordert die Stau-Anlage eine solidere Construction als die Coupirung, da sie niemals verlandet und daher fortwährend dem Angriff des Stroms ausgesetzt bleibt.

Die Stau-Anlagen lassen sich nach ihrer verschiedenen Höhe in drei Klassen eintheilen. Die Krone derselben wird nämlich entweder niemals vom Wasser bedeckt und liegt höher als das höchste Oberwasser. Im zweiten Fall wird sie zuweilen vom Wasser bedeckt, während sie zuweilen über das Unterwasser hervorragt. Sie liegt alsdann zwischen dem höchsten Oberwasser und dem kleinsten Unterwasser. Endlich kann die Stau-Anlage auch unter dem kleinsten Unterwasser bleiben, so dafs sie fortwährend vom Wasser bedeckt ist, und beständig einen unvollkommenen Ueberfall bildet. Die zweite Klasse stellt dagegen nur bei höherem Wasserstande einen unvollkommenen, sonst aber einen vollkommenen Ueberfall dar (§. 19.).

Die Stau-Anlagen der zweiten Klasse sind die gewöhnlichsten, man nennt sie Wehre, zuweilen auch Schlachten. Im Folgenden sollen sie ausführlich behandelt werden.

Die Anlagen der ersten Klasse heifsen Staudämme. Sie bestehn gewöhnlich nur aus einfachen Erddämmen, die jedoch gegen das Durchsickern des Wassers gesichert sind. Einer sonstigen Befestigung bedürfen sie aber nicht, indem sie nicht der Ueberströmung ausgesetzt sind. Ihre Construction bietet in der Regel nichts Eigenthümliches dar. Wenn sie dagegen sehr hoch und noch dazu

mit Vorrichtungen zum Ablassen des Wassers versehn sind, wie dieses etwa bei Schliefsung tiefer Thäler geschieht, worin man das Wasser zur Speisung von Kanälen ansammelt, so sind sie allerdings sehr wichtige Bauwerke, deren Beschreibung bei Gelegenheit der Schiffahrts-Kanäle gegeben werden soll. In der fortificatorischen Baukunst kommen ähnliche Anlagen, die sogenannten Batardeaux oder Bären, häufig vor. Diese sind gleichfalls mit Vorrichtungen zum Ablassen des Wassers versehn, und dienen zur Regulirung des Wasserstandes einzelner Bassins, oder zur Darstellung eines heftigen Stroms, der das Stürmen der Festung erschwert. Damit sie aber nicht selbst dem Feinde Gelegenheit zum Uebergange bieten, werden sie in massivem Mauerwerk mit scharfem Rücken ausgeführt und aufserdem durch aufgesetzte Thürme gesichert.

Die dritte Klasse endlich nennt man Grundwehre oder Stauschwellen. Sie kommen selten vor, und dienen theils dazu, den Wasserstand über flachen Stellen etwas zu heben, um dadurch der Schiffahrt einige Erleichterung zu verschaffen. Anderntheils aber wendet man sie auch an, um das Durchflufsprofil in einzelnen Armen zu verkleinern, wie dieses z. B. im Büdricher Kanal bei Wesel geschehn ist. In diesem Fall sind sie nichts andres, als tief liegende Coupirungen. Sie bestehn gewöhnlich aus Steinschüttungen oder Senkfaschinen.

Bei den Wehren ist die Höhe des Rückens keineswegs beliebig innerhalb der Grenzen des höchsten Oberwassers und kleinsten Unterwassers anzunehmen, dieselbe mufs vielmehr so gewählt werden, dafs der erforderliche Stau hervorgebracht wird, ohne die Cultur und Nutzung der Uferländereien zu beeinträchtigen, oder vollends die daselbst gelegenen Ortschaften der Gefahr der Inundation auszusetzen. In §. 19. sind die Gesetze der ungleichförmigen Bewegung des Wassers entwickelt, und man kann unter Zugrundelegung derselben die Veränderung des Wasserstandes in der oberhalb des Wehrs liegenden Stromstrecke berechnen, sobald man die nöthigen Data kennt. Diese Untersuchung darf jedoch keineswegs auf einen einzigen Wasserstand, wie etwa auf den niedrigsten, beschränkt bleiben, sie mufs vielmehr so weit ausgedehnt werden, dafs man den Einfluſs des Wehrs unter allen Umständen darnach beurtheilen kann.

Die Beschränkung des Profils durch das Wehr verursacht je-

desmal eine gewisse Erhebung des Oberwassers. Am grössten ist dieselbe dicht vor dem Wehr, und man nennt diese die Stauhöhe. Weiter aufwärts nähert sich der gehobne Wasserspiegel immer mehr und mehr dem frühern, bis endlich beide zusammenfallen. Die Entfernung des Wehrs von diesem Punkt heifst die Stauweite. Es ergiebt sich aber aus der obigen Rechnung, dafs die Gröfse der letztern sich nicht bestimmt ermitteln läfst, indem beide Linien asymptotisch zusammenfallen. Für die Beurtheilung des Sachverhältnisses ist diese Unsicherheit nicht nachtheilig, indem man jedesmal im Stande ist, zu berechnen, in welchem Abstande vom Wehr der Wasserspiegel etwa um 1 Fufs, oder um 1 Zoll, oder, wenn man will, auch um noch kleinere Quantitäten gehoben wird. Unterhalb des Wehrs veranlafst dasselbe keine Aenderung des Wasserstandes, wenn nicht vielleicht bedeutende Wassermassen seitwärts vorbeigeleitet, oder periodisch zur Anfüllung des Bassins vor dem Wehr consumirt werden, nachdem der Wasserstand daselbst tief gesenkt war. Eine Senkung des Niveaus unterhalb des Wehrs, die man häufig voraussetzt, jedoch aufser den erwähnten Fällen noch nie wahrgenommen hat, wäre unerklärlich. Wenn das Wasser steigt, wird freilich ein gröfserer Theil desselben, als früher, durch das Wehr zurückgehalten, diese Verzögerung dauert aber nur so lange, bis das obere Bassin sich gefüllt hat, und die dazu erforderliche Zeit ist bei der nur allmählig eintretenden Vergröfserung der Wassermenge des Stroms in den meisten Fällen sehr klein. Bei constantem Zufluſs oder im Beharrungsstande führt aber die Flufsstrecke unterhalb des Wehrs wieder die ganze Wassermenge ab, die also eben so grofs ist, als wenn das Wehr nicht existirte. Man könnte freilich vermuthen, dafs die grössere Geschwindigkeit, welche das Wasser beim Herabstürzen vom Wehr annimmt, es schneller weiter führen und dadurch das Profil verkleinern, d. h. den Wasserspiegel senken müfste. Die erlangte gröfsere Geschwindigkeit wird aber sogleich durch die innern Bewegungen zerstört, und die mittlere Geschwindigkeit, in der Richtung des Flufslaufs gemessen, entspricht nur dem daselbst stattfindenden Gefälle, ist also wieder vom Wehr ganz unabhängig (vgl. §. 16.). Nur am untern Ende regelmäfsiger und stark geneigter Gerinne giebt sich zwischen den stehenden Wellen eine Senkung dieser Art zu erkennen. In der ganzen Breite des Flufsbettes fin-

det dieses aber wohl niemals statt, und um so weniger, als der Uebersturz starke Auskolkungen und Uferbrüche zu bilden pflegt, wodurch jene innern Bewegungen sich noch vergröfsern.

Bei dieser Gelegenheit ist noch darauf aufmerksam zu machen, dafs bei eintretenden Anschwellungen das Oberwasser weniger steigt, als das Unterwasser, und sonach die Niveau-Differenz zwischen beiden immer geringer wird. Dieselbe verschwindet zuweilen auch ganz, wenn das Wehr hoch überfluthet wird, und man bemerkt alsdann nicht mehr eine Unterbrechung der Wasserfläche darüber. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, dafs die Beschränkung des Profils durch das Wehr relativ immer um so geringer wird, je mehr das Wasser anschwillt, und sonach die Wirkungen dieser Beschränkung auch immer kleiner werden. In gleicher Weise vermindern sich auch zur Zeit der Anschwellung alle sonstigen Gefälle, die bei kleinem Wasserstande im Strom vorkommen.

Wenn hiernach bei einer gewissen Höhe der Anschwellung der Einfluſs des Wehrs auch ganz verschwindet, so darf man doch keineswegs daraus folgern, dafs die Wehre für die Abführung des Hochwassers ohne Nachtheil sind. Jene Grenze, bei welcher die Wirkung aufhört, trifft gewöhnlich einen sehr hohen Wasserstand, und wird häufig bei den höchsten Fluthen noch nicht erreicht. Sollte dieses aber auch sein, so bleibt die Anlage für die Ableitung einer minder hohen Anschwellung dennoch sehr störend, und kann in dieser Beziehung leicht für die oberhalb belegnen Ortschaften und Fluren verderblich werden. Dazu kommt aber noch der Uebelstand, dafs das Wehr das Flufsbett erhöht. Wenn dieses seine frühere Breite behält, und zwar eben sowohl zur Zeit des kleinen, wie des höhern Wassers, so tritt oberhalb des Wehrs eine Vergröfserung des Profils und eine Verminderung der Geschwindigkeit ein. Es bilden sich daher hier Ablagerungen von Sand und Geschieben, und der Flufs wird alsdann nicht nur durch das Wehr selbst, sondern auch durch diese Ablagerungen beschränkt. Er mufs, um die ganze Wassermenge abzuführen, ein stärkeres Gefälle annehmen, wodurch der Stau weiter aufwärts vergröfsert wird. Diese Aenderung der Verhältnisse ist oft sehr gefährlich, und man mufs daher, wo eine solche zu besorgen ist, die nöthigen Maafsregeln ergreifen, um ihr vorzubeugen. Ehe ich diese bezeichne, mufs

ich aber noch bemerken, dafs solche Ablagerungen sich oft sehr augenscheinlich zu erkennen geben, und die Längenprofile der Flüsse häufig zeigen, wie deren Sohle bei jedem Wehr stufenweise abfällt.

In einzelnen Fällen bemerkt man diese Erscheinung nicht, und es ist daher zuweilen als Erfahrungssatz ausgesprochen, dafs trotz der Anlage eines Wehrs die vorhandne Tiefe davor sich constant erhält. Dieses geschieht indessen nur, wenn das Profil des Hochwassers durch die Nähe hoher Ufer beschränkt ist, und sonach während der Dauer desselben auch eine starke Strömung oberhalb des Wehrs stattfindet, wodurch die Ablagerung des Sandes verhindert wird. Wenn der Flufs gröberes Geschiebe führt, bleibt dieses dennoch vor dem Wehr liegen, weil es der Geschwindigkeit unerachtet nicht herübergeworfen werden kann. Häufig gehören zu derselben Mühle, für welche das Wehr des Wassers aufstaut, auch die nächsten Ufer, und indem die hier entstehenden Anlagen gegen das Hochwasser gesichert werden, so erheben sich auch die Ufer selbst und zwar unmittelbar am Rande des Flufsbettes bis zur wasserfreien Höhe. Dieses ist wohl der Grund, woher die Flufsbetten innerhalb der Städte und Dörfer sich oft ziemlich rein zu halten pflegen, wenn sie auch unterhalb durch Wehre geschlossen sind. Der Nachtheil für die oberhalb belegnen Ländereien wird dadurch aber wenig gemäfsigt, indem die starke Strömung im Flufsbette zur Zeit des Hochwassers wieder nur in Folge eines stärkern Gefälles sich bilden kann.

Man begegnet der erwähnten nachtheiligen Erhöhung des Flufsbettes und mäfsigt oder hebt vielleicht auch ganz den Stau auf, den das Wehr zur Zeit der höhern Wasserstände verursacht, wenn eine Vorkehrung getroffen wird, wodurch man das Hochwasser durch eine Oeffnung im Wehr ablassen kann, die bis zur ursprünglichen Höhe des Flufsbettes herabreicht. Das durch dieselbe hindurchströmende Wasser reifst alsdann die Ablagerungen mit sich fort, die vielleicht davor sich gebildet hatten, und stellt dadurch die frühere Höhe der Sohle wieder her. Zur Zeit des kleinen Wassers darf freilich dieser Abfluſs nicht stattfinden, weil sonst die Wirkung des Wehrs aufgehoben würde. Man mufs daher zugleich dafür sorgen, dafs die Oeffnung geschlossen werden kann.

Die allgemeinste Benennung für solche Anlagen, wodurch das

Hochwasser abgelassen werden kann, ist wohl Schleuse, bei uns heifsen sie gewöhnlich Freiarchen. Grundablässe nennt man sie aber, wenn die Oeffnungen bis zur Sohle des natürlichen Flufsbettes herabreichen.

Man findet viele ältere Wehre ohne Grundablafs, und sogar ohne Freiarche. Letztere sind auch entbehrlich, wenn der Stau unschädlich ist. In cultivirten Gegenden ist dieses aber nicht leicht der Fall, und man mufs daher jedes Wehr ohne Grundablafs als eine verfehlte Anlage bezeichnen. Man ist deshalb häufig beim Umbau alter Wehre veranlafst, sie mit Grundablässen zu versehn, und besonders ist dieses nöthig, wenn ein Wehr erhöht oder so verstärkt wird, dafs die früher bei jeder besonders hohen Anschwellung erfolgte Zerstörung desselben wegen der solideren Construction nicht mehr eintreten kann. So oft nämlich ein schwaches Wehr bricht, so räumt das Flufsbett sich wieder auf, und sonach werden, so lange sich dieses wiederholt, die Anstauungen weniger bedenklich.

Welche Weite eine Freiarche erhalten mufs, ergeben dieselben Betrachtungen, wonach man die Stauhöhe vor dem Wehr berechnet. Zwischen beiden Arten von Anlagen findet eine grofse Uebereinstimmung der Anordnung und selbst der Construction statt, wiewohl ihre Zwecke ganz entgegengesetzt sind. Häufig sind sogar beide Anlagen in einer einzigen vereinigt, indem das Wehr aus einem ziemlich tief liegenden festen Theil besteht, und bei kleinem Wasser, wenn der Stau eintreten soll, durch aufgesetzte lose Theile erhöht wird. Man nennt sie alsdann bewegliche Wehre, auch wohl Durchlafswehre, und wenn sie zu fortificatorischen Inundationen dienen, Schleusen.

Da die Breite und Höhenlage des Rückens sowol im Wehr, als auch in der Freiarche von wesentlichem Einfluls auf die Abführung des Wassers und die Stauhöhe sind, so ist es dem Besitzer solcher Anlagen nicht gestattet, hieran willkührliche Aenderungen vorzunehmen. Es findet daher eine polizeiliche Aufsicht darüber statt und die benannten Bauwerke müssen so construirt werden, dafs diese Theile möglichst dauerhaft sind und jede dabei vorgenommene Aenderung leicht zu erkennen ist. Derjenige Wasserstand, wobei die Freiarche geöffnet werden mufs, wird aber durch einen Merkpfahl oder Pegel bezeichnet, und auf diesen erstreckt sich gleichfalls die polizeiliche Controle.

§. 43.
Massive Wehre.

Die Construction und selbst die Dimensionen eines Wehrs sind zum Theil durch die Wahl des Materials bedingt. Beim Holzbau muſs man darauf Rücksicht nehmen, daſs diejenigen Theile, die am schwierigsten einzubringen und an sich die kostbarsten sind, nicht sobald durch den Wechsel von Trockenheit und Nässe leiden, ausserdem ist man auch gezwungen, dem Wehr sowol im Grundriſs, wie im Profil geradlinige Figuren zu geben, weil die Krümmungen sich im Holz nicht leicht darstellen lassen. Freiere Wahl hat man bei Anwendung des Massivbaues, und indem von diesem zunächst die Rede sein soll, so entsteht die Frage, welche Richtung und welches Quer-Profil für ein Wehr am geeignetsten sind.

Wenn man allein die Anlagekosten in Betracht zieht, so ist es bei gleichmäſsiger Tiefe des Fluſsbettes ohne Zweifel am angemessensten, das Wehr in gerader Linie, und zwar normal gegen die Richtung der Ufer zu legen. Es ist in dieser Beziehung sogar vortheilhaft, die engste Stelle des Flusses auszusuchen. Die Verengung eines an sich schon engen Profils ist aber für die Abführung des höhern Wassers bedenklich, denn bei gleicher Höhe des Wehrrückens wird bei jeder Ueberströmung die abflieſsende Wassermenge der Länge des Wehrs proportional sein, und der Stau, den man zur Zeit des Hochwassers möglichst vermindern muſs, wird gröſser, wenn das Wehr kürzer ist. Hiernach ist es ziemlich allgemeine Regel, bei neuen Wehranlagen eine Stelle des Flusses zu wählen, die nicht gar zu enge ist. Eine andre Rücksicht, die hierbei gleichfalls wesentlich ist, betrifft die Höhe der Ufer. Dieselbe muſs nämlich gröſser sein, als die des Wehrs, weil sonst das Wehr umströmt und der Zweck desselben verfehlt würde. Es ist sogar vortheilhaft, wenn die Ufer zur Seite, wenn auch nicht wasserfrei, sich doch wenigstens um einige Fuſs über das Wehr erheben, weil nur in diesem Fall die stärkste Strömung im Fluſsbette bleibt, und die Ufer zur Seite vor Ausrissen und Ueberschüttung mit Sand und Kies gesichert werden.

Die Richtung des Wehrs muſs so gewählt sein, daſs ebenso wie bei Coupirungen das überstürzende Wasser nicht die Ufer treffen und dieselben in starken Angriff versetzen kann. Besonders nachtheilig ist es daher, wenn das Wehr sich wie eine stark declinante Buhne an das Ufer anschlieſst, denn in diesem Fall wird das Ufer, wenn es nicht etwa aus Felsen besteht, stark angegriffen. Selbst wenn es normal gegen die Achse des Flusses gerichtet ist, können die erwähnten Abbrüche noch bedeutend sein. Am vortheilhaftesten erscheint es daher, das Wehr in einer gekrümmten Linie zu erbauen, dessen convexe Seite stromaufwärts gekehrt ist, wie Fig. 157. auf Taf. XIX. zeigt.

Die ältern Wehre, besonders wenn sie aus Steinschüttungen bestehn, sind gewöhnlich schräge gegen den Fluſs gerichtet, und ziehn sich häufig in groſser Länge abwärts, bevor sie das andre Ufer erreichen. Vielfach wiederholt sich dieses bei den Wehren auf Ruhr. Figur 164. zeigt die Situation von einem derselben. Es zog sich in früherer Zeit ohne Unterbrechung von *A* bis *C* abwärts. Die Oeffnung darin bei *B* ist erst später behufs des Schiffahrts-Kanals angebracht. Indem aber wegen der Kiesablagerungen an dieser Stelle, wozu das Wehr selbst wesentlich beitrug, unterhalb der Schleuse die nöthige Fahrtiefe fehlte, so ist noch eine zweite Oeffnung bei *D* angebracht, wodurch dem Unterkanal der Schleuse Wasser zugeführt wird. Die starken Abbrüche in dem vom überstürzenden Strom getroffenen Ufer und die aus der groſsen Verbreitung wieder hervorgehenden Verflachungen des Bettes geben sich hier besonders deutlich zu erkennen. Man bemerkt aber fast bei jedem ähnlich situirten Wehr gegen die Mitte desselben eine hohe und mit natürlichem Weiden-Aufschlage bedeckte Kiesablagerung, die bei kleinem Wasser trocken ist, und selbst beim Hochwasser eine Spaltung des Stroms veranlaſst, die ihre weitere Erhöhung fortdauernd begünstigt. Man wählte die schräge Richtung wohl nur, weil eine Kiesbank daselbst vom Strom aufgeworfen war, die man nur zu erhöhen brauchte, um den gewünschten Stau in einfachster Weise darzustellen. Es ist aber schon oben (§. 8.) erwähnt worden, daſs die Untiefen gewöhnlich sich neben einem Ufer bilden, und von hier ab sich nach und nach abwärts fortsetzen, während sie in das Bett weiter vortreten. Wie unzweckmäſsig diese Gestaltung der Wehre auch ist, so hat man dennoch versucht, dieselbe

dadurch zu rechtfertigen, dafs bei der grofsen Länge, welche die normale Breite des Flusses übertrifft, die Höhe der überstürzenden Wasserschicht merklich geringer sei, als wenn das Wehr in der jetzt üblichen Art normal gegen den Strom gezogen wäre.

Zuweilen sind solche schräge gerichtete Wehre aus frühern Fischwehren entstanden, und ziehn sich alsdann von beiden Ufern aus schwach convergirend in zwei Armen abwärts, zwischen welchen am untern Ende eine schmale Oeffnung bleibt, worin die Fischnetze ausgespannt wurden. Wenn es Aufgabe ist, einen Strom schiffbar zu machen, wo dergleichen Anlagen vorkommen, so bilden sie gemeinhin die gröfsten Hindernisse, auf die man überhaupt stöfst, und abgesehn von der Schwierigkeit, welche das Herausbrechen derselben und die Entfernung der Untiefen macht, zu deren Entstehn sie Veranlassung gaben, so pflegen auch die Entschädigungs-Forderungen wegen des Verlustes der Fischerei gewöhnlich sehr hoch gestellt zu werden. In manchen Fällen hat man durch Schliefsung der untern Oeffnung solche Fischwehre in geschlofsne Wehre verwandelt, wovon Fig. 165. ein Beispiel zeigt, das gleichfalls auf der Ruhr sich vorfindet.

Endlich ist in Betreff der Richtung der Wehre noch darauf aufmerksam zu machen, dafs sie in einem schiffbaren Strom nicht neben dem Fahrwasser liegen, oder wenn dieses der Fall ist, sie wenigstens den Schiffsweg nicht vom Leinpfad trennen dürfen. Sobald nämlich das Wasser stark über das Wehr stürzt, bildet sich im Oberwasser eine heftige Strömung nach demselben, und die Schiffe werden von dieser auf das Wehr getrieben. Dieser Gefahr kann nur dadurch begegnet werden, dafs die Schiffe bei der Thalfahrt an einem starken Tau vom Ufer aus über die Stelle fortgeführt werden, wo sie diesem Strom ausgesetzt sind. Besonders gefährlich ist in dieser Beziehung das Fig. 164. dargestellte Wehr. Der Schiffahrts-Kanal durchschneidet nämlich das Wehr fast in der Mitte des Stroms. Bei höherem Wasser kann man die Mündung des Kanals nur gewinnen, indem man das Schiff so führt, dafs es den höchsten Rücken der Wasserfläche verfolgt, von welchem nach beiden Seiten nicht nur die Strömung, sondern auch der Abfall deutlich wahrzunehmen ist. Bei der geringsten Abweichung von dieser Linie wird das Schiff von einer so heftigen Strömung gefafst, dafs es durch Ruder oder durch Schiebstangen nicht mehr ge-

halten werden kann, sondern rettungslos auf das eine oder das andre Wehr treibt. Die gröfsern Schiffe werden daher an Tauen vom rechten Ufer aus herabgelassen, wobei sie bis zur Kanalmündung überscheeren müssen.

Die Profile der Wehre zerfallen in zwei Hauptklassen, je nachdem der Wassersturz entweder noch auf den hintern Theil des Wehrs trifft, oder die Strömung möglichst regelmäfsig darüber geführt wird, um jeden unmittelbaren Angriff gegen das Bauwerk zu verhindern. Gewöhnlich wählt man die letzte Anordnung. Nichts desto weniger fehlen auch in diesem Falle nicht immer die Beschädigungen. Das Wasser wird freilich in einer regelmäfsigen Strömung über das Wehr geführt, und indem es dasselbe nirgend scharf trifft, so ist dieses hierdurch auch keinem starken Angriff ausgesetzt. Die Geschwindigkeit aber, die das Wasser beim Sturz annimmt, und welche unter diesen Umständen nahe der Fallhöhe entspricht, wird in einer solchen regelmäfsigen Leitung nicht merklich vermindert. Der Strom tritt also, sobald er das Wehr verläfst, mit einer übermäfsigen Geschwindigkeit in das unbefestigte, natürliche Flufsbett. Sein Profil verändert sich hier plötzlich, indem es viel gröfser wird, auch fehlt hier dasjenige Gefälle, welches zur weitern Beibehaltung derselben Geschwindigkeit erforderlich ist. Es sammelt sich also hier eine grofse Wassermenge an, welche durch den herabstürzenden Strom getroffen, theilweise ihm folgt, theilweise, um den leeren Raum auszufüllen, zur Seite oder unter und zuweilen auch über jenem Strom fort nach dem Wehr zurückfliefst, und dadurch jene innern Bewegungen und Wirbel bildet, welche zu Uferbrüchen und Auskolkungen Veranlassung geben. Indem diese aber unmittelbar hinter dem Wehr eintreten, so kommt Letzteres leicht in Gefahr, wenn es nicht besonders tief fundirt ist. In den meisten Fällen sieht man sich gezwungen, die entstehenden tiefen Kolke mit Steinen, Senkfaschinen oder dergleichen auszufüllen, und sonach gewissermaafsen das Bauwerk so weit zu verlängern, dafs es diejenige Stelle mit umfafst, an welcher die grofse Geschwindigkeit des Wassers zerstört wird.

Hiernach erscheint es zweckmäfsiger, ein solches Profil zu wählen, dafs das Wasser, wie man zu sagen pflegt, schon auf dem Wehr sich todt fällt, und dem unbefestigten Strombett sanft zugeführt wird. Man braucht alsdann den Abschufsboden nicht so weit aus-

zudehnen. Wenn der Sturz sehr steil oder, wie oft geschieht, sogar senkrecht erfolgt, so zerstört sich die lebendige Kraft des herabstürzenden Wassers schon beim Aufstofsen auf den Sturzboden. Dieser mufs daher besonders fest construirt und zugleich entweder vollständig wasserdicht sein, damit das Wasser nicht durch die Fugen auf den losen Untergrund dringen kann, oder er mufs solche Dicke haben, dafs der Weg durch diese Fugen schon zu lang ist, als dafs eine nachtheilige Wirkung auf das Flufsbett darunter noch zu besorgen wäre. Rohe Steinschüttungen pflegen in diesem Falle anfangs schnell zu versinken, und der Vertiefung nicht Einhalt zu thun, aber wenn man immer neue Steine aufwirft, so nehmen die zerstörenden Wirkungen doch bald ab, und hören endlich ganz auf.

Der starke Stofs des Wassers auf den Unterboden des Wehrs läfst sich indessen noch wesentlich vermindern, wenn man, wie zuweilen geschieht, zwei oder mehrere stufenförmige Absätze hinter einander bildet, weil alsdann der Angriff gegen den letzten und schwächsten Boden nur noch der Höhe der letzten Stufe entspricht.

Fig. 166. zeigt ein Wehr mit senkrechtem Abfall, das auf Felsen gegründet ist, woher eine besondre Sicherung gegen die Wirkungen des Wassersturzes dabei entbehrt werden konnte. Eine andre Eigenthümlichkeit zeigt sich noch bei diesem Wehr, die man häufig findet. Dieselbe besteht darin, dafs der Rücken im Querprofil nicht horizontal liegt, sondern stromabwärts etwas ansteigt. Der Grund dieser Anordnung ist darin zu suchen, dafs man den stromaufwärts gekehrten Rand des Wehrrückens dem Stofs des darüber treibenden Eises entziehn und vor demselben sicher stellen wollte. Vortheilhafter möchte es sein, die obere Kante abzurunden, wie dieses nach der Zeichnung an der untern geschehn ist. Jedenfalls ist es nothwendig, recht feste und grofse Steine zur Bedeckung der Krone zu wählen. Vor dem Wehr bemerkt man endlich noch eine Kiesablagerung, die sich vor solchen senkrecht aufgeführten Wehren zu zeigen pflegt, und die sehr steil ist, wenn das Fluthprofil der nächst oberhalb belegenen Strecke nur eine beschränkte Gröfse hat. Entgegengesetzten Falls lagert sich diese Kiesmasse ganz flach, oder bildet eine vollständige Ueberdeckung des Flufsbettes, wovon oben die Rede war.

Will man das Wehr dagegen in der Art anordnen, dafs das

Wasser ohne plötzlichen Sturz und unter Beibehaltung der ganzen Geschwindigkeit recht regelmäfsig herübergeführt wird, so pflegt man die in Fig. 167. dargestellte Construction zu wählen. EF bezeichnet die Höhenlage der Sohle des Flufsbettes und diese Linie mufs zugleich Tangente an die Curve sein, welche das Profil des Wehrs in seinem untern Ende begrenzt, weil nur in diesem Fall jede plötzliche Unterbrechung in der Richtung der Strömung vermieden wird. A sei die Höhe des Wehrrückens, welche man, wie oben angegeben, mit Rücksicht auf die Fluthverhältnisse und andre locale Umstände vorher ermittelt.

Zunächst kommt es darauf an, denjenigen kleinsten Krümmungshalbmesser für den Wehrrücken zu bestimmen, wobei ein Abstofsen oder Ausheben der Steine nicht mehr besorgt werden darf, und welcher der geringsten Mauermasse und sonach den mindesten Anlagekosten für das ganze Werk entspricht. Gesetzt AC wäre dieser kleinste noch zulässige Halbmesser, so wird damit der Bogen DAG beschrieben.

Um den Krümmungshalbmesser für den untern Theil des Profils zu bestimmen, pflegt man eine gewisse mittlere Neigung für den ganzen Abschufsboden, also für die Sehne AF anzunehmen. In der Figur entspricht diese Neigung der vierfachen Anlage, oder $BF = 4 . AB$. Hiernach bestimmt sich der Punkt F, und man kann die Hülfs-Linie AF ziehn. Im Punkte G, wo sie den erst erwähnten Bogen schneidet, befindet sich das Ende desselben und hier beginnt der zweite Bogen. Da letzterer in seinem Anfangspunkt mit dem vorhergehenden eine gemeinschaftliche Tangente haben, und am Endpunkt in die Horizontale übergehn soll, so darf man nur in dem letzten Punkte die Senkrechte FH errichten und den Radius CG verlängern, bis er in H diese Senkrechte schneidet, so ist H der gesuchte Mittelpunkt des zweiten Bogens. Diese Construction gewährt indessen wenig Genauigkeit, weil die Punkte C und G zu nahe neben einander liegen und selbst die Lage des Punktes G bei der geringen Convergenz des Bogens gegen die Sehne sich nicht mit hinreichender Schärfe darstellt. Man findet sicherer die Punkte H und G, wenn man den Winkel ACH construirt, indem man ihn doppelt so grofs als AFB macht. Alsdann ist der Winkel bei C dem bei H gleich und die beiden Dreiecke GHF und

GCA sind ähnlich und gleichschenklig, wodurch die Bedingungen der Aufgabe erfüllt werden.

Was den Vorboden ED betrifft, so wählt man für denselben diejenige Neigung, welche mit Rücksicht auf die Solidität des Mauerwerks am angemessensten erscheint, und construirt ihn in der Art, dafs er sich tangential an den ersten Kreis anschliefst. Man bestimmt diese Neigung gemeinhin so, dafs man die Höhe der doppelten bis vierfachen Länge der horizontalen Projection gleich macht.

Durch das angegebne Verfahren wird freilich ein Profil dargestellt, welches von allen scharfen Ecken frei ist, die plötzlichen Uebergänge aus einer Kreislinie in die andre, und wieder aus dieser in die gerade und horizontale Linie unterbrechen, jedoch die Continuität der Curve. Wenn dieser Umstand auch weder den Abfluſs des Wassers, noch die Solidität des Wehrs beeinträchtigt, so wiederholt sich doch nicht selten in der Technik die Frage, wie man eine Curve ohne dergleichen plötzliche Uebergänge construiren kann, welche den verschiedenen maafsgebenden Bedingungen entspricht. Es kommt also darauf an, das Gesetz (oder die Gleichung) zu finden, durch welches die Curve in ihrer ganzen Ausdehnung gegeben ist.

Bei Anwendung auf den vorliegenden Fall sei gegeben

1. der Krümmungshalbmesser des Wehrrückens im Scheitelpunkt A, also die Linie $AC = c$ in Fig. 170. auf Taf. XX,
2. die Höhe dieses Scheitelpunktes über der Sohle des Wehrs am Ende desselben, also $AB = a$,
3. die Länge des Wehrs von jenem Scheitelpunkt ab gemessen, oder $BD = b$, und endlich
4. die Bedingung, dafs die Sohle an ihrem untern Ende asymptotisch in die Horizontale übergehn soll.

Zieht man durch den Scheitelpunkt A eine horizontale Linie, welche als Abscissen-Linie betrachtet wird, während A der Anfangspunkt der Abscissen x ist, und die Ordinaten y abwärts gezählt werden, so kommt es darauf an, die Gleichung der Curve AD zu finden. Die allgemeinste Form derselben würde sein:

$$y = p + qx + rx^2 + sx^3 + tx^4 + ux^5$$

Die Einführung fernerer Glieder ist entbehrlich, da aus den obigen Bestimmungen sich nur sechs Bedingungs-Gleichungen ableiten lassen. Diese sind:

A) Für $x = o$ ist die Ordinate gleich Null, die Curve horizontal gerichtet und ihr Krümmungshalbmesser gleich c, folglich

1. $y = o$
2. $\frac{dy}{dx} = o$
3. $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{c}$

B) Für $x = b$ ist die Ordinate gleich a, und die Curve nicht nur wieder horizontal gerichtet, sondern sie geht auch hier in eine gerade Linie über, also

4. $y = a$
5. $\frac{dy}{dx} = o$
6. $\frac{d^2y}{dx^2} = o$

Führt man diese Werthe in die obige Gleichung und in deren erstes und zweites Differenzial ein, so ergeben sich die constanten Factoren:

$$p = o$$
$$q = o$$
$$r = \frac{1}{2c}$$
$$s = \frac{10 \,.\, a}{b^3} - \frac{3}{2bc}$$
$$t = -\frac{15 \,.\, a}{b^4} + \frac{3}{2b^2c}$$

und $$u = \frac{6a}{b^5} - \frac{1}{2b^3c}$$

Beispielsweise sei $BD = b = 40$ Fuſs, die Höhe des Rückens über der Sohle, oder $a = 10$ Fuſs und der Krümmungs-Halbmesser im Scheitel $c = 8$ Fuſs, alsdann hat man

$$r = 0{,}0625$$
$$s = -\,0{,}0031250$$
$$t = 0{,}000058594$$
$$u = -\,0{,}00000039062$$

während die Factoren p und q gleich Null sind, und es ergeben sich die verschiedenen Werthe von y

für x	= 0	y	= 0,00
	= 4		= 0,81
	= 8		= 2,63
	= 12		= 4,74
	= 16		= 6,63
	= 20		= 8,12
	= 24		= 9,13
	= 28		= 9,70
	= 32		= 9,93
	= 36		= 9,99
	= 40		= 10,00

In Fig. 171. zeigt die punktirte Linie den Zug dieser Curve. Letztere dürfte sich für die Anwendung in sofern empfehlen, als das aus dem Wehr tretende Wasser die abwärts gerichtete Bewegung vollständig verloren hat und sonach nicht unmittelbar die Sohle des Flufsbettes angreift.

Die darüber befindliche ausgezogne Linie stellt gleichfalls das Profil eines Wehrs dar, dessen Länge und Höhe eben so grofs sind, wobei indessen die Bedingung nicht eingeführt war, dafs der Boden sich asymptotisch der Horizontalen nähern solle. In diesem Falle erhielt man nur fünf Bedingungs-Gleichungen, und daraus ergab sich, dafs der Krümmungs-Halbmesser des Wehrrückens nicht kleiner, als 13,3 Fufs sein dürfe, weil sonst die Curve innerhalb des Wehrs sich bis unter die Sohle senkte, und darauf wieder anstieg, so dafs sie noch einen zweiten aufwärts gekehrten Scheitel bildete. Um dieses zu vermeiden, mufste c gleich 13,3 Fufs angenommen werden.

Zuweilen läfst man auch bei continuirlicher Begrenzung den Rücken des massiven Wehrs sehr steil abfallen, wodurch die Länge des ganzen Bauwerks sich bedeutend vermindert. Ein Beispiel dieser Anordnung zeigt Fig. 168. auf Taf. XIX. In diesem Fall hat der Abschufsboden, wie häufig geschieht, ein solches Längen-Profil erhalten, dafs er sich bis unter das natürliche Flufsbett senkt und entweder selbst wieder ansteigt, oder wie hier gezeichnet, in eine Steinschüttung ausgeht, die mit einem stromaufwärts gekehrten Gefälle sich bis zur Sohle des Bettes erhebt. Dabei ist auf die Bekleidung des Wehrs mit den gewölbartig gebildeten Steinschichten aufmerksam zu machen. Diese Wölbsteine müssen recht hoch sein,

besonders wo sie am stärksten vom Stofs des Wassers und Eises getroffen werden, weil sie sonst herausgerissen würden. In vielen Fällen pflegt man sie in dieser Hinsicht auch durch eiserne Klammern zu verbinden, es ist jedoch vortheilhafter durch stärkere Dimensionen und sorgfältige Arbeit eine solche künstliche Verbindung, die oft selbst Veranlassung zur Zerstörung giebt, entbehrlich zu machen. Dafs die Steine aber hinreichend hart sein müssen, bedarf kaum der Erwähnung.

Fig. 169. zeigt das Wehr, welches Telford bei Saltersford auf dem Weaver behufs der Verbesserung der Schiffahrt erbaute. Dasselbe hat gleichfalls ein solches Profil erhalten, dafs der stärkste Wassersturz noch das Wehr trifft. Die Anbringung der beiden Pfahlreihen am obern und untern Ende des Wehrs, welches im mittlern Theil auf keinem Pfahlrost ruht, kann nicht als zweckmäfsig angesehn werden, weil ein ungleichförmiges Setzen dabei zu besorgen ist. Der Rücken, der aus grofsen Hausteinen besteht, ist sehr solide construirt, und die hier gewählte Anordnung der Steinschichten, so wie des Fugenschnitts, verdient ohne Zweifel bei niedrigen Wehren Nachahmung. Die Länge dieses Wehrs (normal gegen die Richtung der Strömung gemessen) beträgt 120 Fufs, doch überspannt es nicht in gerader Linie den Flufs, vielmehr in einem stromaufwärts gekehrten Bogen, ähnlich wie Fig. 157. zeigt, wodurch das überstürzende Wasser nach der Mitte des Flufsbettes gewiesen wird. Die Entfernung der beiden in der Figur angegebnen Pfahlreihen beträgt 22 Fufs. An der rechten Seite schliefst sich an dieses Wehr eine massive Freiarche an, welche vier Durchflufsöffnungen von 4 Fufs Weite hat.

Bei Gelegenheit der massiven Wehre müssen auch diejenigen erwähnt werden, welche aus rohen Steinschüttungen bestehn. Man findet sie nicht selten in Gebirgsgegenden, wo grobes Steinmaterial in der Nähe und wohl im Flufsbett selbst vorkommt. Die Wehre an der Ruhr gehören hierher. Sie verdienen indessen keine Nachahmung, da sie theils nicht dicht sind, und viel Wasser durchlassen, theils aber auch sehr bedeutenden und häufig wiederkehrenden Beschädigungen ausgesetzt sind. Das überstürzende Wasser bringt nämlich leicht einzelne Steine des Rückens in Bewegung, und sobald hier einige Unregelmäfsigkeit entsteht, und die Strömung sich an einer Stelle concentrirt, so ist die Veranlassung zu noch

stärkern Beschädigungen und sogar zum vollständigen Durchbruch gegeben, der häufig in kurzer Zeit eintritt.

Die Sicherheit eines solchen Wehrs beruht vorzugsweise auf einer recht flachen Dossirung des stromabwärts gekehrten Theils oder des Abschufsbodens, weil hierdurch das Abrollen der Steine vom Rücken am meisten verhindert wird. Eine vierfache Anlage dieser Fläche ist daher wohl die steilste Neigung, die man wählen darf. Demnächst werden diese aus Stein-Schüttung oder Packung bestehenden Wehre noch wesentlich verstärkt, wenn man sie mit gröfsern Steinen abpflastert, und besonders wenn die Stofsfugen mit Cement-Mörtel gefüllt werden. Man darf nicht unbeachtet lassen, dafs der Angriff des Wassers auf das Wehr viel gröfser ist, als auf eine Buhne. Während letztere nur vor sich ein tiefes und regelmäfsiges Strombett hat, und zur Seite Verlandungen entstehn, wodurch sie dem Angriff des Stroms entzogen wird, bleibt das Wehr fortdauernd dem starken Uebersturz und Angriff ausgesetzt, ja derselbe verstärkt sich noch, wenn, wie häufig geschieht, tiefe Kolke unterhalb sich bilden.

Es ist bisher nur von denjenigen Theilen des Wehrs die Rede gewesen, welche den Stau verursachen und vom Wasser überströmt werden, also von dem Rücken und dem Vor- und Abschufsboden. Jedes Wehr mufs aufserdem aber noch Seiteneinfassungen gegen die Ufer erhalten, damit diese bei dem verstärkten Strom nicht leiden, wodurch leicht eine Seitenöffnung entstehn, und das Wehr umströmt werden könnte. Diese Vorsicht ist aber noch besonders deshalb nothwendig, weil der Rücken des Wehrs jedesmal tiefer liegt, als die beiderseitigen Ufer.

Die Seiteneinfassungen bestehn bei gemauerten massiven Wehren aus gewöhnlichen Futtermauern, die bis zur Uferhöhe heraufgeführt sind. Man giebt ihnen zuweilen eine schwache Neigung in der stromwärts gekehrten Fläche, auch geschieht es nicht selten, dafs sie neben dem Wehrrücken lothrecht stehn, stromauf- und abwärts aber stärker geneigt sind, so dafs sie an dem Ende des Vorbodens wie des Abschufsbodens schon so flach liegen, dafs ein Perré (§. 5.) angeschlossen werden kann, welches in die Dossirung des unbefestigten Ufers übergeht. Wenn diese Anordnung nicht gewählt ist, und die Mauern durchweg lothrecht, oder beinahe lothrecht aufgeführt sind, so müssen zum Anschlufs an das unbefestigte Ufer,

am obern wie am untern Ende Flügelmauern angebracht werden, die in die Ufer treten. Damit bei dieser Anordnung jedoch keine scharf vortretende Ecken entstehen, welche das Profil des Flusses plötzlich verengen, so dürfen die Seitenmauern sich nicht in gerader Linie neben dem Wehr hinziehn, sondern müssen von dem Wehrrücken ab sowohl auf-, als abwärts sanft in das Ufer zurücktreten, wie Fig. 176. *a* auf Taf. XX. diese Anordnung bei einem hölzernen Wehr zeigt. Es entsteht dadurch allerdings der Nachtheil, dafs an der Stelle, wo der Wehrrücken liegt, das Durchflufs-Profil nicht nur in der Tiefe, sondern auch in der Breite am stärksten beschränkt ist. Dieses ist aber nicht zu umgehn, wenn man neben dem Wehr regelmäfsige Uferlinien bilden will.

Besteht das Wehr nur aus einer rohen Steinschüttung, so pflegt man diese bis zu den Uferrändern heraufzuführen und dadurch die letztern zu decken.

§. 44.

Halbmassive Wehre.

Der erwähnte Uebelstand der aus roher Steinschüttung bestehenden Wehre, dafs nämlich die Strömung sich an einzelnen Stellen des Rückens leicht concentrirt und hier einen Durchbruch verursacht, läfst sich dadurch vermindern, dafs man einen starken Baum oder einen Balken in den Wehrrücken legt. Derselbe ist indessen nicht gehörig befestigt, wenn man ihn nur durch die dagegen gepackten Steine zu halten versucht, und aufserdem ist die Höhe eines Balkens so geringe, dafs leicht eine starke Strömung, die wieder verderblich werden kann, sich unter demselben bildet.

Man zieht es daher vor, eine vollständige Holzwand, die vom Flufsbett bis zum Wehrrücken aufsteigt, darzustellen. Am einfachsten geschieht dieses, wenn die übereinander gelegten Baumstämme oder Balken nur durchlocht und durch hölzerne Nadeln verbunden werden, wie dieses bei Gebirgsströmen, wo Steine wie Holz wenig Werth haben, häufig geschieht. Eine solche Wand wird durch den Druck der von beiden Seiten dagegen gepackten Steine schon einigermaafsen gehalten, aber jedenfalls verdient es

den Vorzug, sie noch auf der Sohle des Flufsbettes gehörig zu befestigen.

Wenn das Bett in eine Felsbank eingeschnitten, und wie gewöhnlich durch das Eis und das darüber geführte Gerölle ziemlich eben geschliffen ist, so mufs man besorgen, dafs bei starken Anschwellungen das ganze Wehr fortgerissen wird. Das Einrammen der Pfähle ist in Felsboden gemeinhin unmöglich, und wenn die Pfähle auch etwas eindringen sollten, so wird der umgebende Fels dabei so zerklüftet, dafs sie keinen festen Stand erhalten. Es ist daher angemefsner, statt derselben starke eiserne Bolzen anzuwenden. Man bohrt Löcher von einer Weite, die der Stärke der Bolzen entspricht, in den Felsen ein und zwar 12 bis 18 Zoll tief. Das untre Ende jedes Bolzen wird durch einen Sägeschnitt gespalten, und ein eiserner Keil von gleicher Breite und von der erforderlichen Stärke wird mit der Schneide in den Spalt eingesetzt. Indem man den Bolzen in das Bohrloch anfangs durch sanfte und später durch recht kräftige Hammerschläge herabtreibt, dringt der Keil tiefer in den Spalt, drängt die Federn des Bolzens auseinander und stellt schliefslich eine feste Verbindung dar. Die Balken werden alsdann an den entsprechenden Stellen durchbohrt, auf die Bolzen aufgezogen, und Schraubenmuttern am obern Ende der Bolzen geben der ganzen Verbindung die gewünschte Festigkeit. Fig. 172. zeigt diese Anordnung im Querschnitt, doch mufs dabei für die gehörige Abwechselung der Stöfse in der Balkenwand gesorgt werden.

Besteht das Flufsbett aus aufgeschwemmtem Boden, so kann man die Balken gegen eingerammte Pfähle lehnen. Man giebt der Wand in diesem Fall häufig eine geringere Stärke, so dafs sie nur aus Halbholz, oder wohl gar nur aus Bohlen besteht. Gewöhnlich wird sie alsdann aber mit einem Holm versehn, der in der Höhe des Wehrrückens liegt. Der Umbau solcher Wehre ist schwierig, indem der Grund durch die Steinschüttung so unrein wird, dafs man später keine Pfähle einrammen kann und man sich begnügen mufs, die alten Pfähle aufzupfropfen, oder auf andre Weise die Holzwand gegen dieselben zu stützen.

Werden zwei solche Wände in einigem Abstande von einander und zwar in gleicher Höhe ausgeführt, während der Zwischenraum zwischen beiden mit Steinen ausgefüllt wird, so stellt sich ein Wehr

dar, welches dem Fig. 166. auf Taf. XIX. gezeichneten ähnlich ist. In diesem Fall stürzt das Wasser senkrecht von der ganzen Höhe des Wehrs herab, woher für ein festes Sturzbett gesorgt werden mufs, damit keine tiefe Auskolkung sich unmittelbar dahinter bildet. Häufig vertheilt man auch, wie bei massiven Wehren, das Gefälle dadurch, dafs noch eine dritte oder mehrere Wände hintereinander in geringerer Höhe aufgeführt werden, welche stufenförmige Absätze oder sogenannte Pritschen darstellen. Figur 173. zeigt einen solchen Bau mit einer Pritsche. Dabei fällt das Wasser nicht unmittelbar auf die Steinpackung, sondern auf einen darüber liegenden Bohlenbelag.

Dergleichen stufenförmige Absätze kamen auch bei den früher in Schlesien üblichen sogenannten Stangenwehren vor, die Fig. 174. darstellt. Die vertikalen Wände bestanden aus verholmten und mit Bohlen bekleideten Pfahlreihen, die etwa 6 Fufs von einander entfernt waren. Die mit Steinen angefüllten Zwischenräume waren aber mit Stangen, das heifst mit Rundhölzern von 6 bis 8 Zoll Stärke, überdeckt. Dieselben erstreckten sich durch die ganze Länge des Wehrs bis zum obern Theil desselben, und lagen nicht horizontal, sondern etwas geneigt. Ihre Stammenden waren stromabwärts gekehrt und berührten sich im frei liegenden Theile möglichst nahe, wo sie vom herabstürzenden Wasser getroffen wurden. Gegenwärtig sind diese Wehre, die häufigen Zerstörungen ausgesetzt gewesen sein sollen, beinahe ganz verschwunden.

Die Methode, das Wasser über einen durchbrochenen Boden zu führen und es auf denselben herabstürzen zu lassen, hat in neurer Zeit bei den Wehren wieder Anwendung gefunden, welche die Wildbäche auf dem Harz zum Betriebe der Hüttenwerke anstauen. Ihre Construction ist indessen solider, als die beschriebene, da sie einen vollständigen auf Pfählen ruhenden Grundbau erhalten, auch durch zwei Spundwände gesichert werden. Die Blockwand, welche den Wehrrücken bildet, ruht auf der zweiten Spundwand zwischen Stielen zu beiden Seiten, und wird überdiefs durch Verstrebungen gehalten. Ein horizontaler Boden, aus eichenen Bohlen bestehend, schliefst sich an die Blockwand abwärts an, seine Länge ist ungefähr der Höhe der letzteren gleich, und darüber liegen, etwa 45 Grade gegen den Horizont geneigt, die Stangen von $3\frac{1}{2}$ bis $4\frac{1}{2}$ Zoll Stärke, die jedoch freie Zwischenräume von etwa 2 Zoll zwischen

sich lassen. Hieran schliefst sich in doppelter Länge eine andre Lage Stangen an, die wenig geneigt den übrigen Theil des Wehrs bedeckt. Das Wasser dringt zwischen den Stangen durch, und fliefst sowol darunter, wie darüber ab. Diese Anordnung des Baues soll sich gut bewährt haben. *)

Ferner erbaut man die Wehre zuweilen auch in Form der §. 31. beschriebenen Senkkasten. Besonders geschieht dieses häufig in Nord-Amerika. Das Wehr, wodurch der Schuylkill bei Fair-Mount angespannt wird, um die Wasserleitungen von Philadelphia zu speisen, ist in dieser Art construirt. Fig. 175. *a* zeigt den Durchschnitt und Fig. 175. *b* einen Theil der stromabwärts gekehrten Seite. Zur Erklärung der Zeichnung ist nur zu bemerken, dafs dieser Damm 1169 Fufs lang ist, und die Anschüttung auf der stromaufwärts gekehrten Seite aus dem Material des Flusses, nämlich aus Sand, Erde und kleinem Geschiebe besteht. Dasselbe lagerte sich in kurzer Zeit so dicht, dafs das Durchsickern des Wassers aufhörte. Der Bau ist in den Jahren 1819 bis 1823 ausgeführt. **) Auch für den Staudamm in Croton, der das Wasser 38 Fufs anspannt, und zur Speisung der Wasserleitungen in New-York dient, hat man dieselbe Construction gewählt. ***)

§. 45.
Hölzerne Wehre.

In vielen Fällen ist das Steinmaterial so kostbar, dafs man es entweder gar nicht, oder nur in geringem Maafse anwenden darf. Dieses findet namentlich in Nord-Deutschland statt, und hier hat sich eine Constructionsart der Wehre in Holz ausgebildet, die speciell beschrieben werden mufs. Es zeigen sich darin freilich noch manche Verschiedenheiten, die jedoch weniger wesentlich sind und bei Angabe der einzelnen Theile berührt werden können.

---

*) Zeitschrift des Hannoverschen Architecten- und Ingenieur-Vereins. Band III. 1857. S. 270.

**) *Public Works in the united states of America. London* 1841. *p.* 105.

***) *Schramke, description of the New-York Croton Aqueduct. New-York and Berlin* 1845.

Bei Anwendung des Holzbaues darf man das Profil nicht mehr durch eine Curve begrenzen, vielmehr muſs man dafür eine gerade oder eine gebrochne Linie wählen. Die hölzernen Wehre sind meist in gerader Richtung quer durch den Fluſs gezogen, wie auch die im vorigen Paragraph behandelten halbmassiven Wehre.

Der Rücken des hölzernen Wehrs besteht jedesmal aus einem Fachbaum, der auf einer Spundwand ruht, und die beiden geneigten Böden des Wehrs trennt. Die Spundwand an sich kann den wasserdichten Schluſs nicht bilden, ein solcher ist aber dringend nöthig, weil der eigentliche Körper des Wehrs nur aus Erde besteht, die bei starkem Wasserdruck leicht durchdrungen und fortgespült werden könnte, wodurch das ganze Werk seinen Zweck verfehlen würde. Man bildet daher einen möglichst compacten Thondamm, und sichert denselben seitwärts durch Spundwände und oben durch einen Bohlenboden, wie Fig. 176. zeigt.

Der Thondamm wird häufig, wie dieses auch in der Figur angenommen ist, ebensowohl unter dem Vorboden als unter dem Hinter- oder Abschuſsboden angebracht. Er erstreckt sich jedoch häufig nicht unter den ganzen Hinterboden, sondern nur etwa bis zum dritten Grundbalken. Es entsteht aber die Frage, welcher von beiden Dämmen der wichtigere sei, den man also mit besonderer Sorgfalt ausführen und auch in dem Fall darstellen muſs, wenn man etwa eine Spundwand und einen der beiden Dämme fortlassen will. Man überzeugt sich leicht, daſs der wasserdichte Schluſs unter dem Rücken des Wehrs stattfinden muſs, denn wenn ein solcher hier fehlt und das Wasser daselbst hindurchdringt, so wird es auch im Abschuſsboden nicht mehr zurückgehalten werden können, weil dieser nicht in so innige Verbindung mit der Thonmasse gebracht werden kann, wie die Spundwand, gegen welche der Thon angestampft wird. Die Frage reducirt sich sonach darauf, ob der Anschluſs des Thondammes gegen die Spundwand auf der stromaufwärts, oder der stromabwärts gekehrten Seite das Durchdringen des Wassers sichrer verhindert. Beim starken Feststampfen legt sich der Thon scharf gegen die Spundwand, füllt alle Unebenheiten derselben aus und dringt auch in ihre Fugen hinein. Diese innige Berührung wird auf der stromaufwärts gekehrten Seite durch den Wasserdruck befördert, während auf der entgegengesetzten Seite der Wasserdruck auf eine Trennung beider hinwirkt. Hiernach

mufs man den wasserdichten Schluſs auf der stromaufwärts gekehrten Seite als besonders wichtig ansehn. Man könnte freilich vermuthen, daſs der Wasserdruck vergleichungsweise gegen die Kraft, womit der Thon festgestampft wird, nur unbedeutend sei, und daher keine Berücksichtigung verdiene. Nichts desto weniger mufs man hierbei auch beachten, daſs das Holz und selbst der Thon bei eintretender Trockenheit schwindet und sonach in diesem Fall die Wirkung des Stampfens in Betreff des innigen Schlusses zwischen beiden zum Theil aufhört, woher der Effect des Wasserdrucks mehr Einfluſs erhält.

Es giebt indessen noch andre Gründe, welche den wasserdichten Schluſs an der stromaufwärts gekehrten Seite des Wehrrückens als den wichtigeren erscheinen lassen. Hierher gehört besonders der Umstand, daſs das Wasser sich über dem Vorboden noch regelmäſsig bewegt, während es auf dem Abschuſsboden herabstürzt, daher beim Durchdringen durch die Fugen des Bohlenbodens den darunter befindlichen Thondamm stärker angreift. Endlich pflegt man den Abschuſsboden bis zur Sohle des Fluſsbettes herabzuführen, will man ihn daher nicht gar zu lang machen, so mufs man ihm eine starke Neigung geben, dadurch entsteht hinter der Spundwand unter dem Wehrrücken eine scharfe Kante, welche vom Wasser leichter durchdrungen wird. Der Vorboden braucht dagegen das Fluſsbett nicht zu erreichen, man kann ihm daher jede beliebige sanfte Neigung geben und jene scharfe Kante vermeiden.

Die Anordnung des Wehrs ist folgende. Die Höhe des Fachbaums ist durch die Stromverhältnisse gegeben. Der Vorboden mufs einige Neigung nach vorn erhalten, damit die stärkste Verengung über dem Fachbaum stattfindet, und die herübertreibenden Eisschollen nicht etwa gegen den vordern Rand dieses Bodens stossen. Es ist vortheilhaft, wenn dieser Rand immer unter dem Oberwasser liegt. Der Abschuſsboden schlieſst sich auf der andern Seite an den Fachbaum und erstreckt sich wenigstens so weit, daſs er selbst beim niedrigsten Wasserstande noch in das Unterwasser herabreicht. Die Breite des Vorbodens bestimmt sich dadurch, daſs der darunter befindliche Thondamm hinreichende Stärke erhält, die des Abschuſsbodens ist dagegen durch dessen Neigung bedingt. Je flacher die letztere angenommen wird, um so fester wird der ganze Bau, und um so weniger ist er den Beschädigungen durch Auskol-

kung des Flufsbettes ausgesetzt. Gewöhnlich entspricht die Neigung der sechsfachen bis dreifachen Anlage.

Der wasserdichte Thondamm mufs sowol stromaufwärts, wie abwärts durch Spundwände eingeschlossen sein, weil nur in diesem Fall ein festes Anstampfen erfolgen kann. Die Spundwände reichen aber bis in die beiderseitigen Ufer hinein, um auch hier das Durchdringen des Wassers zu verhindern, und der Thondamm erstreckt sich eben so weit, als sie selbst. Aufserdem mufs letzterer nach Maafsgabe des beabsichtigten Staues und der Beschaffenheit des Bodens auch mehr oder weniger tief unter die Sohle des Flufsbettes sich fortsetzen.

Die Spundwände tragen die darauf zu legenden Fachbäume nicht sicher, diese müssen vielmehr noch durch daneben gestellte Pfahlreihen unterstützt werden. In sofern aber der genaue Anschluſs des Thondammes an eine Spundwand durch die davor stehenden Pfähle verhindert wird, so mufs die Pfahlreihe neben dem Hauptfachbaum an derjenigen Seite der Spundwand stehn, wo der Damm von minderer Bedeutung ist, also nach der obigen Auseinandersetzung auf der stromabwärts gekehrten Seite. Es würde sich hiernach auch rechtfertigen, die Pfahlreihe, welche den Fachbaum vor dem Vorboden unterstützt, an die äufsere oder die stromaufwärts gekehrte Seite der Spundwand zu stellen. Ich habe diese Anordnung indessen nicht gewählt, weil sie ungewöhnlich ist, und man die Wehre, wie jeden andern Bau, mit den Spundwänden zu umschliefsen pflegt, was in andrer Beziehung auch vortheilhaft ist.

Am untern Ende des Abschufsbodens ist gemeinhin noch eine dritte Spundwand angebracht. Dieselbe ist in Betreff des wasserdichten Schlusses allerdings entbehrlich, da jedoch das Wasser durch den Uebersturz in heftige Bewegung versetzt wird, und trotz der Anbringung des Sturzbettes leicht Auskolkungen im Flufsbette entstehn, so ist der dichte Schluſs auch hier von Wichtigkeit. Wenn man ihn nicht anbringt, so mufs man besorgen, dafs unter dem Abschufsboden leere Räume entstehn, die leicht das Durchsickern des Wassers begünstigen und für den ganzen Bau gefährlich werden.

Die sämmtlichen Fachbäume und besonders der Hauptfachbaum werden mit besondrer Vorsicht aufgebracht. Nachdem die ganze Spundwand mit einem durchgehenden Zapfen versehn, und

der Fachbaum gehörig aufgepafst ist, wird dieser Zapfen mit Leinwand umschlagen, die vorher in heifsen Theer getränkt worden. Der Fachbaum wird alsdann mit Handrammen fest aufgetrieben und mit eisernen Klammern an die Spundwand befestigt.

Der Vorboden, wie der Abschufsboden, ist mit Bohlen überdeckt. Damit diese aber weder durchbiegen, noch auch sich werfen, dürfen sie auf keine bedeutende Länge frei liegen. Man legt daher im Abstande von 4 Fufs von Mitte zu Mitte, und zwar parallel mit den Fachbäumen, die Grundbalken, auf welche die Bohlen aufgenagelt werden. Die Grundbalken ruhn auf Pfählen, die reihenweise in 5 bis 6 Fufs Abstand von einander eingerammt sind. Diese Pfahlreihen erstrecken sich gleichfalls einige Fufs weit über die Seitenwände des Wehrs hinaus.

Das durch das Wehr dringende Wasser greift alle Oberflächen des Holzes, die es berührt, nach und nach merklich an, und verzehrt das Holz. So sieht man beim Aufbrechen alter Wehre, dafs die Zapfen unverhältnifsmäfsig klein gegen die zugehörigen Zapfenlöcher sind, und mitunter ganz fehlen. Um ohnerachtet dieser Veränderung die Lage der Grundbalken zu sichern, stellt man die Pfähle nicht mehr wie beim Pfahlroste in gerade Linien, sondern man läfst sie abwechselnd von der einen und der andern Seite vor die Grundbalken vortreten und versieht sie mit Blattzapfen, womit sie die letztern umfassen, und mittelst starker Nägel oder Bolzen daran befestigt werden.

Die beiden Böden, die gemeinhin aus 3 oder 4zölligen Bohlen bestehn, werden auf die Grundbalken und Fachbäume genagelt. An den Enden der Bohlen geschieht dieses mit eisernen, sonst aber mit hölzernen Nägeln. Die Anbringung einer Spundung, oder auch nur einer halben Spundung, ist dabei nicht üblich, auch nicht passend, weil das Holz, wenn es geschwächt wird, der Zerstörung noch mehr ausgesetzt ist. Die Bohlen werden daher nur gesäumt und möglichst dicht schliefsend aufgenagelt. Um indessen ein zu starkes Durchdringen des Wassers durch die Fugen zu verhindern, pflegt man oft noch Latten überzunageln, die, sobald sie schadhaft geworden, durch andre ersetzt werden.

Der Haupt-Fachbaum bezeichnet die Höhe des Wehrrückens, es ist daher nicht gestattet, den Bohlenbelag der beiden Böden darüber fortzuführen, noch auch durch irgend eine sonstige Verklei-

dung ihn zu erhöhn. Aus diesem Grunde mufs der Fachbaum, wo er sich an die Bohlen anschliefst, mit Falzen versehn werden, in welche diese eingreifen. Die Falze müssen aber eine solche Breite haben, dafs die Bohlen noch auf den Fachbaum genagelt werden können. Sollte die Stärke des Fachbaums hierzu nicht genügen, so legt man noch einen Grundbalken unmittelbar daneben, auf welchen die Bohlen befestigt werden, während sie in einen schmalen, etwa 1 Zoll breiten Falz des Fachbaums noch eingreifen. Bei dieser Anordnung genügt für den letztern schon eine Stärke von 12 Zoll, wobei der mittlere Theil, der nicht durch den Bohlenbelag bedeckt wird, 10 Zoll breit bleibt. Ist der Fachbaum 15 Zoll stark, so darf man nur an einer Seite einen Grundbalken unmittelbar daneben legen, und bei 18 Zoll Stärke lassen sich beide Bohlenböden schon sicher darauf befestigen. Diese Rücksichten begründen sich nur für den Hauptfachbaum, die beiden andern Fachbäume, welche das Wehr an der obern und untern Seite begrenzen, können unbedenklich durch den Bohlenboden überdeckt werden, wodurch die Construction einfacher wird. Nichts desto weniger werden die Bohlen auch hier gewöhnlich, wie in der Figur gleichfalls angenommen ist, in Falze eingelassen.

Die Befestigung der Fachbäume erfolgt zwar sehr sicher, wenn einzelne Spundpfähle mit durchgreifenden Zapfen versehn sind, die man in der Längenrichtung des Fachbaums, nachdem derselbe aufgebracht ist, durch eingesetzte Keile auseinander treibt. Diese Verbindung ist jedoch für die freiliegenden Theile des Fachbaums nicht angemessen. Wenn also der Bohlenbelag nicht gehörig weit übergreift, so ist es vorzuziehn, die Befestigung durch starke eiserne Klammern, die von der Seite in den Fachbaum und in die Spundwand eingetrieben werden, darzustellen.

In Betreff der Ausführung und der Reihenfolge der einzelnen Arbeiten mufs daran erinnert werden, dafs zuerst für eine anderweitige Ableitung des Flusses zu sorgen ist, oder wenn eine solche sich nicht darstellen läfst, der Bau des Wehrs nicht im Ganzen, sondern nur theilweise erfolgen kann, weil sonst der Flufs ganz gesperrt werden würde. Die Baustelle wird demnächst mit Fangedämmen eingeschlossen und bis zur erforderlichen Tiefe ausgehoben, während man durch Pumpen das Quellwasser beseitigt. Gleichzeitig werden die Spundpfähle und hierauf die Grundpfähle

gerammt. Die Ausgrabung wird bis in die Ufer ausgedehnt, auch greifen die Spundpfähle in diese ein. Indem man die Fachbäume aufbringt und die Pfähle abschneidet, und mit Blattzapfen versieht, wirft man den Thon in dünnen Lagen in die Baugrube. Derselbe muſs mit Sorgfalt zwischen den Pfählen angestampft werden, er darf daher nicht so stark durchnäſst sein, daſs er eine breiartige Masse bildet, und eben so wenig darf er ganz trocken sein. Wenn aber das Quellwasser, wie gewöhnlich, die unterste Lage stark erweicht, so ist es angemessen, für diese recht trocknen Thon zu wählen, der möglichst schnell, also bevor er sich vollgesogen hat, mit der Handramme befestigt wird. Die folgenden Lagen, die nicht stärker als 6 Zoll sein dürfen, weil der Stoſs der Handramme bei gröſserer Stärke die Compression nicht mehr sicher bewirkt, müssen denjenigen Grad von Feuchtigkeit besitzen, wobei das Anstampfen am wirksamsten ist, d. h. der Thon muſs in kleinen Massen sich noch kneten lassen. Dieses ist aber derselbe Grad der Feuchtigkeit, in welchem man ihn gewöhnlich schon vorfindet.

An die Hauptspundwand, also an den Rücken des Wehrs, muſs der Thondamm sich besonders scharf anschlieſsen. Aus diesem Grunde beginnt man jedesmal das Stampfen an der äuſsern Seite der Lage, und beschlieſst es mit recht kräftigen Stöſsen unmittelbar an der Spundwand und rings um die davor stehenden Pfähle. Die Lagen dürfen aber nicht horizontal bleiben, sondern müssen nach und nach die Neigung des darüber anzubringenden Bohlenbodens annehmen. Zu diesem Zweck erhalten sie ungleiche Stärke und werden an der Seite des Wehrrückens höher geschüttet, als an dem äuſsern Ende. Ist auf diese Weise der Thonboden bis zur untern Fläche der Grundbalken aufgeführt, so werden diese verlegt, worauf in gleicher Weise der Thonschlag bis zur untern Fläche des Bohlenbodens fortgesetzt, und endlich für eine recht sorgfältige Abgleichung der Oberfläche gesorgt wird, damit die Bohlen nicht nur auf den Grundbalken, sondern auch auf dem Thondamm aufliegen und dazwischen keine hohlen Räume bleiben.

Ueber das Aufbringen des Bohlenbelags ist nur zu erwähnen, daſs das Ende jeder Bohle auf einen Grundbalken oder einen Fachbaum treffen muſs. Dieses würde bei der verschiednen Breite des Wehrs (indem dasselbe über dem Hauptfachbaum gewöhnlich etwas eingezogen ist) nicht möglich sein, wenn man alle Bohlen

parallel bearbeiten wollte. Man muſs daher mehrere der zunächst an den Seitenwänden aufzunagelnden Bohlen nach der einen Seite etwas verjüngen, damit die Fugen, welche in der Mitte des Wehrs parallel zum Strom gerichtet sind, nach und nach in die Richtung der Seitenwand übergehn und keine Bohle in eine scharfe Spitze ausläuft. Die Figur zeigt diese Anordnung, so wie auch, daſs die Bohlen, wenn sie nicht die volle Länge des Abschuſsbodens haben, nicht einzeln, sondern zu mehreren über demselben Grundbalken gestoſsen werden. Dieses geschieht, um die Bohlen in ihrer vollen Breite benutzen zu können, ohne daſs es erforderlich wird, jeder Bohle dieselbe Breite zu geben, welche die in ihrer Verlängerung liegende hat. Endlich werden gemeinhin noch schwache Latten über die Fugen der Bohlen genagelt. In den Stoſsfugen ist dieses entbehrlich, weil dieselben schon durch die Grundbalken gedeckt sind.

Wenn der Fluſs nur wenig Wasser führt, so wird dieses gemeinhin durch die Mühlenanlage zur Seite des Wehrs verbraucht, so daſs zur Zeit der Dürre über das letztre nichts abflieſst, und daher sowohl der Rücken als der Abschuſsboden zu Zeiten trocken liegen. Für den Rücken oder Hauptfachbaum ist dieser Umstand weniger bedenklich, insofern er in das Oberwasser taucht, und von diesem benetzt wird, oder wenigstens mit dem feuchten Thondamm immer in Berührung bleibt. Der Bohlenbelag des Abschuſsbodens leidet dagegen in Folge der abwechselnden Benetzung und Austrocknung. Dabei tritt aber noch der Uebelstand ein, daſs bei anhaltender Dürre die Bohlen stark schwinden, reiſsen und sich werfen, und sonach bei der folgenden Ueberströmung die Fugen weit geöffnet sind. Um hiergegen das Wehr zu sichern, und um überhaupt den häufigen Reparaturen des Belags des Abschuſsbodens zu begegnen, wird derselbe zuweilen mit einem Pflaster bedeckt. Man darf indessen nicht hoffen, daſs ein einfaches Pflaster, auf den Thondamm gesetzt, der Ueberströmung Widerstand leistet. Das Wasser dringt vielmehr in die Fugen, spült dieselben aus und die Steine versinken entweder, oder werden fortgerissen, so daſs der ganze Abschuſsboden seine Decke verliert. Ein bedeutendes Wehr wurde in dieser Art, und zwar sowohl im Vorboden, als im Abschuſsboden behandelt, man hatte aber noch zu mehrerer Sicherheit über die Grundbalken andre Balken gelegt und darin ver-

kämmt, so dafs ein fester Rost entstand. Die Felder desselben waren sorgfältig mit grofsen Sandstein-Quadern ausgesetzt, und überhaupt der ganze Bau sehr solide und tüchtig ausgeführt. Bei einer starken Fluth löste sich aber die Steindecke, die einzelnen Steine versanken, und der Thondamm des Unterbodens wurde so stark beschädigt und auseinander gerissen, dafs sogar die Spundwand ihre Haltung verlor und einzelne Spundpfähle durch die Rostfelder des Abschufsbodens heraustrieben. Der Bohlenbelag, den man später aufbrachte, hat das Wehr seit einer langen Reihe von Jahren vollständig geschützt.

In andern Fällen haben dagegen gepflasterte Abschufsböden sich vollständig bewährt. Die Verschiedenheit des Erfolgs erklärt sich vielleicht durch die stärkere oder schwächere Strömung des überstürzenden Wassers, vorzugsweise aber wohl durch die Art der Bettung des Pflasters. Beschädigungen, wie die erwähnte, werden durch das Ausspülen des darunter befindlichen Bodens veranlafst. Man kann wohl kaum das Eindringen des Wassers in die Fugen des Pflasters und sogar bis unter das letztere ganz verhindern. Es bilden sich daher hier jedesmal schwache Strömungen, und wenn diese eine Bodenart berühren, die leicht löslich ist, so führen sie die Erdtheilchen mit sich fort, die auch durch die Fugen der Spundwand ihren Weg finden. Es kommt sonach darauf an, das Pflaster in groben Kies zu betten, der nicht forttreiben kann. Ausserdem aber trägt es zur Conservirung des Pflasters wesentlich bei, wenn die Stofsfugen desselben mit Cement-Mörtel verstrichen werden.

Ueber die Verbindung des Wehrs mit dem Ufer und die Darstellung eines gehörigen Anschlusses an letzteres ist noch Einiges zu erwähnen. Es kommt zunächst darauf an, ein starkes Durchsickern des Wassers durch das Ufer zu verhindern, wodurch dieses leicht aufgelockert und endlich wohl gar durchbrochen werden könnte, so dafs der Flufs zur Seite des Wehrs sich einen neuen Weg eröffnet. Um dieses zu verhindern, werden die Spundwände und die Thondämme bis in das feste Ufer fortgesetzt. Wenn man aber diese Fortsetzungen der Spundwände in gleicher Höhe, wie im Wehre selbst hält, so ist das Durchsickern des Wassers durch das Ufer noch nicht vollständig vermieden, und zwar um so weniger, als auch die hölzernen Seitenwände das Eindringen des Was-

sers nicht verhindern. Man läfst daher bei solchen Wehren, die einen starken Stau erzeugen und einer heftigen Ueberströmung ausgesetzt sind, die ins Ufer greifenden Theile der Hauptspundwand höher hinaufreichen, so dafs sie nahe den Wiesengrund berühren. Die Befestigung der Fachbäume, die in verschiedenen Höhen liegen, erfordert alsdann eine besondre Vorsicht. Den mittlern Theil derselben darf man nicht neben der Seitenwand abschneiden, weil hierdurch der wasserdichte Schlufs aufgehoben, auch der Fachbaum selbst weniger sicher liegen würde, als wenn er weiter in das Ufer träte. Man wählt vielmehr die in Fig. 176. *c* und *d* in der Seitenansicht und im Durchschnitt dargestellte Construction. Einige der nächsten Spundpfähle werden noch in derselben Höhe wie die mittlern abgeschnitten, und der Hauptfachbaum erstreckt sich über sie fort, während er zugleich den folgenden höhern Spundpfahl mit einem oder zwei Blättern zur Seite umfafst. Auf den Fachbaum wird der Stiel aufgezapft, der das Wehr zur Seite begrenzt, und zwischen diesen und den ersten höhern Spundpfahl stellt man kurze Bohlen oder Stücke Halbholz, die gleichfalls gespundet sind und die Ergänzung der Spundwand bilden. Die Zapfen, mit welchen diese kurzen Stücke oben und unten versehn sind, greifen in die fortlaufenden Zapfenlöcher beider Fachbäume ein, und die letzte dieser Bohlen fafst mit einer Feder in die Spundung des erwähnten Stiels. Wenn alsdann der obere Fachbaum aufgelegt und durch eine eiserne Klammer mit diesem Stiel, oder dem darauf befindlichen Holm verbunden wird, so ist die ganze Wand nicht nur fest zusammengesetzt, sondern bis zum obern Fachbaum eben so dicht, wie jede andre Spundwand.

Die beiden Fachbäume zur Seite des Wehrs, welche die erwähnten höhern Flügel der Hauptspundwand bedecken, werden gewöhnlich so hoch gelegt, dafs die Grasnarbe des Wiesengrundes sich noch darüber bilden kann, in vielen Fällen liegen sie auch in der Höhe des Wiesengrundes selbst, und oft sogar darüber. Wenn die letzte Anordnung in mehrfacher Beziehung nicht passend ist, so werden die Fachbäume und Spundwände doch auch in der Höhe des Wiesengrundes schon oft trocken und gehn sonach bald in Fäulnifs über. Sie lassen sich länger conserviren, wenn man den Thondamm bis zu ihrer vollen Höhe heraufführt, und überhaupt jede unmittelbare Berührung der vegetabilischen Erde mit ihnen verhin-

hindert. Aufserdem kommt hierbei noch der Umstand in Betracht, dafs der Thondamm, der gegen sie angestampft ist, ihren Durchbruch verhindert, wenn sie auch schon durch Fäulnifs ihre Festigkeit verloren haben. Nichts desto weniger hat man doch zuweilen auch andre Maafsregeln angewendet, wodurch das Eintreten der Fäulnifs verhindert wird. Man läfst nämlich den Hauptfachbaum in der Höhe, die er im Wehr selbst hat, über die ganze Länge der Spundwand fortlaufen. Er ist alsdann ebenso, wie die Spundwand, dieser Gefahr entzogen, weil das Erdreich bis zum Wehrrücken immer nafs zu bleiben pflegt. Auf den Fachbaum stellt man aber eine Mauer aus gebrannten Steinen, einen Stein stark. Dieselbe würde an sich wenig stabil sein, sie erhält aber eine sichre Unterstützung, indem die Thondämme dagegen gestampft werden. Es ist hierbei nothwendig, das Anschütten und Anstampfen an beiden Seiten ganz gleichmäfsig zu bewirken, weil die Mauer sonst umgeworfen werden könnte. Auf solche Weise läfst sich allerdings der nachtheilige Einfluſs des abwechselnden Nasswerdens und Trocknens der Wand aufheben, es entsteht dabei aber die Frage, ob eine solche lose Wand überhaupt noch von Nutzen ist, und ob man nicht das Durchdringen des Wassers ebenso vollständig verhindern kann, wenn die beiden Thondämme vor und hinter der Spundwand sich unmittelbar berühren, oder ohne Unterbrechung einen einzigen Damm bilden.

Die Wände, welche das Wehr zu beiden Seiten gegen die Ufer begrenzen, sind nichts andres, als gewöhnliche Uferschälungen. Jedenfalls müssen sie die Uferhöhe oder den Horizont des Thalgrundes erreichen, ohne ihn zu übersteigen, denn nur in diesem Fall schützen sie das Ufer gehörig und geben keine Veranlassung zur Bildung von Seitenströmungen. Sie müssen auch, wie bereits bei Gelegenheit der massiven Wehre erwähnt, von dem Wehrrücken ab, sowohl stromauf- als abwärts etwas divergiren, und an den Enden mit Flügeln versehn sein, um gehörige Anschlüsse an die Ufer zu bilden.

Die Seiten-Einfassungen der hölzernen Wehre werden zuweilen auch massiv aufgeführt, um den häufigen Reparaturen und Umbauen zu begegnen. Für diesen Fall gilt Alles, was hierüber bei Gelegenheit der massiven Wehre gesagt ist, und es bleibt nur mitzutheilen, wie der hölzerne Boden nebst den Grundbalken und

Fachbäumen an die Mauern angeschlossen wird. Da die Fachbäume in die Mauer eingreifen, so darf man diese nicht anders, als auf einem Pfahlrost fundiren. Am einfachsten wäre es, in diesem Fall die Rostschwellen unmittelbar unter die Grundbalken zu legen, und letztre als Zangen zu benutzen. Dabei würde indessen zunächst der Uebelstand eintreten, dafs die Oberfläche des Rostes gegen den Horizont geneigt werden müfste, und sonach ein Abgleiten des Mauerwerks oder eine Trennung beider Theile desselben über dem Fachbaum besorgt werden könnte. Doch abgesehn hiervon, verbietet sich eine solche Anordnung auch dadurch, dafs die Rostpfähle und Rostschwellen nebst ihrem Belage zur Seite des Abschufsbodens, und besonders in der Nähe des Wehrrückens, zuweilen über Wasser treten. Der Rost mufs aber jedenfalls unter dem kleinsten Wasser bleiben, und insofern die Höhe desselben für das Ober- und Unterwasser verschieden ist, so ist es am vortheilhaftesten, die Mauer hinter der Hauptspundwand tiefer herabzuführen, als vor derselben, und für jeden dieser Theile den Rost besonders, und zwar horizontal zu legen. Die Fachbäume nebst den Spundwänden müssen, soweit die Mauer darüber liegt, in dieselbe eingreifen, die Grundbalken, deren Erneuung dagegen in einer kürzern Periode zu erwarten steht, können stumpf an die Mauer stofsen. Endlich müssen die Mauern, ähnlich den Schälungsmauern, auf der Stromseite mit Spundwänden eingefafst werden, um eine Unterspülung des Rostes zu verhindern, die bei einiger Schadhaftigkeit des Abschufsbodens leicht eintreten kann.

Gewöhnlich bestehn die Einfassungswände nur aus Holz, und sind alsdann wesentlich nichts andres als Bohlwerke. Sie unterscheiden sich von diesen hauptsächlich nur dadurch, dafs sie auf beiden Seiten mit Bohlen verkleidet sind. Beim Neubau von Wehren pflegt man, wie Figur 176. *a* zeigt, besondre Bohlwerks-Pfähle zwischen die Grundbalken einzurammen (sie unterscheiden sich in der Figur von den Grundpfählen dadurch, dafs sie vierkantig gezeichnet sind). Der Bohlenbelag des Bodens wird bis an die Pfähle geführt und die Verkleidung der Wand schliefst sich an diese an. Bei Anwendung der Bohlwerks-Pfähle kann man häufig die Erdanker wegen der geringen Höhe der Wände entbehren, und hierin liegt der Vortheil, den sie vor aufgesetzten Wänden haben.

Wenn dagegen diese Seitenwände schadhaft geworden sind, und erneut werden müssen, während der übrige Theils des Wehrs keiner Hauptreparatur bedarf, so würde das Einrammen neuer Bohlwerkspfähle umständlich und kostbar sein. Man pflegt daher in solchem Fall aufgesetzte Wände zu wählen, wie häufig schon beim Neubau geschieht. Gewöhnlich legt man alsdann, wie Figur 177. *a* zeigt, die Schwelle der Wand über die Grundbalken, indem die Letztern etwas eingeschnitten werden. Da jedoch die Hinterfüllungserde dem Zutritt des Wassers ausgesetzt ist, und folglich zu Zeiten einen starken Seitendruck ausübt, so kann es leicht geschehn, dafs diese Befestigung der Stiele nicht genügt und die Schwelle ausweicht, indem sie sich dreht oder kantet. Grösere Sicherheit bietet schon die in Fig. 177. *b* dargestellte Anordnung, wobei die Schwelle ganz fehlt, und die Stiele mittelst Versatzung und Zapfen unmittelbar in die Grundbalken eingreifen, und sich aufserdem noch gegen den Bohlenbelag lehnen. Will man indessen möglichst sicher sein, so legt man die Schwelle vor die Stiele und bolzt sie an die Grundbalken an, wie Fig. 177. *c* zeigt.

Welche von diesen Anordnungen man auch wählen mag, so dürfen die Erdanker hierbei nie fehlen, weil die aufgesetzte Wand an sich keine Stabilität besitzt. In der Zeichnung einer hölzernen Freiarche Fig. 178. Taf. XXI., wobei die Construction sehr nahe mit derjenigen der Wehre übereinstimmt, sind aufgesetzte Wände mit Schwellen unter den Stielen gewählt worden. Die Erdanker sind daselbst auch angegeben, und zwar, wie in diesen Fällen gewöhnlich geschieht, ist ein Stiel um den andern verankert.

§. 46.
Freiarchen.

Ueber den Zweck und die Anordnung der Freiarchen ist schon oben (§. 42.) die Rede gewesen, auch nachgewiesen, dafs sie die Erhöhung des Flufsbettes vor dem Wehr nur verhindern, wenn ihr Fachbaum sich nicht über die Flufssohle erhebt. Ihre Construction stimmt sowol beim Massiv- wie beim Holzbau in allen Theilen mit

derjenigen der Wehre überein, daher dürfen hier nur noch die Vorrichtungen zum Schliefsen der Oeffnungen beschrieben werden.

Gemeinhin und namentlich in kleineren Freiarchen erfolgt der Schlufs der Oeffnung, so lange man den Stau erhalten will, durch Schütze. Dieses sind hölzerne, in seltnen Fällen auch eiserne Tafeln, die auf dem Fachbaum oder dem Rücken der Freiarche stumpf aufstehn, und sich seitwärts gegen vortretende Ränder der Wände oder der Mittelpfeiler oder Mittelstiele lehnen. Sobald die Oeffnung frei werden soll, um das Wasser abfliefsen zu lassen, zieht man sie mittelst verschiedner Vorrichtungen auf.

Die Schütze würden ohne Zweifel einen bessern Schlufs erhalten, wenn sie auch unten gegen einen vortretenden Rand gelehnt wären, gegen welchen sie vom Oberwasser in gleicher Weise wie gegen die Falze der Pfeiler und Stiele gedrückt werden. Da jedoch die Durchbiegung nicht ganz zu vermeiden ist, so würden sie beim Herablassen nicht in den untern Falz hineinzubringen sein, indem sie in der Mitte der Oeffnung schon vorher auf den Rand aufstofsen. In diesem Falle wäre der Schlufs aber noch weniger dicht, als wenn sie in der üblichen Art stumpf aufstehn und die volle Fläche berühren.

Die Breite des einzelnen Schützes beträgt in der Regel nicht mehr als etwa 4 Fufs, doch lassen sich Schütze von 5 bis 6 Fufs Breite noch durch ziemlich einfache Vorrichtungen bequem heben und einstellen, diese Vorrichtungen werden aber complicirt und erfordern eine bedeutende Kraft, wenn man viel weitere Oeffnungen durch einzelne Schütze schliefsen und wieder frei machen will. In manchen Fällen, wo die Anbringung von Mittelsäulen nicht zulässig ist, wie namentlich bei Schiffsdurchlässen, kommen Schütze in grofser Breite, und zwar bis zu 20 Fufs und darüber vor.

Gewöhnlich werden die Oeffnungen in so kleine Abtheilungen zerlegt, dafs man jede einzelne durch ein Schütz schliefsen kann. Diese Zertheilung geschieht durch zwischengestellte massive oder hölzerne Wände, und zwar nennt man denjenigen Theil derselben, woran der erwähnte vortretende Rand sich befindet, an welchen das Schütz sich lehnt, den Gries-Pfeiler oder die Gries-Säule. Mit derselben Benennung bezeichnet man aber auch den entsprechenden Theil an der Seitenwand der Freiarche.

Bei massiven Freiarchen müssen die zu solchem Zweck

angebrachten Mittelpfeiler so stark sein, dafs sie dem Stofs des Eises, das mit Heftigkeit dagegen zu treiben pflegt, hinreichenden Widerstand leisten. Sie dürfen dabei aber keine grofse Breite haben, weil sie sonst die Oeffnungen zu sehr beengen würden, oder man gezwungen wäre, eine um so gröfsere Verbreitung der ganzen Arche vorzunehmen. Aus diesem Grunde pflegt man die Mittelpfeiler ganz aus Werkstücken zu erbauen. Wenn dieses aber auch nicht der Fall ist, so mufs doch der Falz, oder der vortretende Rand in festen Werkstücken angebracht sein, weil gebrannte Steine zu leicht ausbrechen, und Bruchsteine sich hierzu vollends nicht eignen Der Falz ist gemeinhin 3 Zoll tief, oder die Seiten- oder Mittelmauer springt über dem Rücken der Freiarche drei Zoll gegen die Durchflufsöffnung vor, und behält diese gröfsere Stärke auch in dem folgenden oder stromabwärts gekehrten Theil. Zuweilen wird der Falz noch mit einer eisernen Schiene verkleidet, um die Reibung zwischen Holz und Stein, und die daraus hervorgehende Abnutzung des erstern zu vermindern. Die Schienen werden durch Bolzen mit versenkten Köpfen gehalten, und letztre müssen in den Werkstücken vergossen werden. Diese Befestigung ist aber mit Umsicht auszuführen, damit die Steine nicht ausspringen, auch zwischen den Schienen und Steinen ein dichter Schlufs sich darstellt.

Wenn die Freiarche mit hölzernen Seitenwänden versehn ist, so besteht das Grieswerk gleichfalls aus Holz. Diejenige Griessäule, welche in der Seitenwand sich befindet, ist gemeinhin ebenso wie die freistehenden Griessäulen, nicht mit Bohlen verkleidet, sondern an beiden Seiten mit Falzen versehn, in welche die Verkleidung eingreift. Der Falz auf der stromaufwärts gekehrten Seite ist aber um 3 Zoll tiefer (Fig. 178. *a*), damit über den Bohlen der Seitenwand, die durch die punktirte Linie bezeichnet sind, noch ein 3 Zoll hoher Vorsprung sich bildet, gegen welchen das Schütz sich lehnt. Auf der stromabwärts gekehrten Seite schliefst sich dagegen die Fläche der Griessäule an die Oberfläche des Bohlenbelags an. Diese Griessäule erleidet vom Oberwasser her einen starken Druck, woher der nächste Theil der Seitenwand, gegen welchen sie sich lehnt, verstrebt sein mufs. Fig. 178. *b* zeigt diese Verstrebung hinter der noch unverkleideten Mittelwand. Die sämmtlichen Griessäulen, also auch die in den Seitenwänden stehenden, werden durch

starke eiserne Schienen gegen den Fachbaum und zuweilen auch gegen einzelne Spundpfähle befestigt.

Die Seitenwände einer Freiarche können, wie die eines Wehrs, auf verschiedne Art construirt werden. In der beigefügten Zeichnung ist angenommen, dafs sie aus aufgesetzten Wänden bestehn, und zwar mit gewöhnlicher Verschwellung unter den Stielen.

Die Mittelwände sind wie die Seitenwände construirt, und haben keinen andern Zweck, als die davorstehenden Griessäulen zu unterstützen, sie erstrecken sich daher von diesen stromabwärts so weit, als die sichere Verstrebung es erfordert. Die Schwellen, auf welchen sie aufstehn, sind über den Grundbalken eingeschnitten, um sich nicht zu verschieben, und greifen an ihren Enden über den Bohlenbelag fort, damit die Bohlen auf diesen Grundbalken noch gehörig befestigt werden können. Die Streben lehnen sich zuweilen unmittelbar gegen die Griessäulen, da diese aber nicht auf der Schwelle der Wand aufstehn, so erhält man eine festere Verbindung, wenn man neben die Griessäule einen Stiel stellt, und jene gegen diesen sich lehnen läfst. Damit die Mittelwände nicht etwa seitwärts umfallen, werden sie durch einige übergelegte Spannbalken mit den Seitenwänden verbunden. Zwei dieser Balken sind schon behufs der Anbringung der Brücke nothwendig, die zur Handhabung der Schütze dient.

Die Griessäule vor der Mittelwand ist in gleicher Weise, wie die in den Seitenwänden befindlichen, mit Falzen für die Schütze versehn, doch sind diese Falze nur 3 Zoll tief eingeschnitten, weil hier kein Bohlenbelag sich anschliefst. Die stromabwärts gerichteten Falze sind dagegen so tief, als die Bohlenverkleidung stark ist, die auch an den Mittelwänden angebracht wird.

Indem es darauf ankommt, den Griessäulen ihre Stellung unverändert zu erhalten, so wird jedesmal ein starker Griesholm darüber gelegt, in welchen sie sämmtlich mit doppelten Zapfen eingreifen. Bei grofser Weite der Oeffnungen ist dieser Holm einem bedeutenden Seitendruck ausgesetzt, woher man einen Balken von hinreichendem Querschnitt dazu verwenden mufs, ist letzterer aber nicht quadratisch, so verlegt man den Holm nicht hochkantig, sondern flach. Zuweilen wird er auch als gezahnter Balken aus zwei Stücken zusammengesetzt, und so gelegt, dafs seine breite Seite in die Horizontale fällt, wie Fig. 183. *a* zeigt. Die Zahnschnitte sind

aber so gerichtet, dafs sie dem stromabwärts gekehrten Druck Widerstand leisten.

Die Schütze bestehn, wie Fig. 178. *c* angiebt, aus Tafeln, die aus zwei kreuzweise übereinander genagelten Lagen von Brettern zusammengesetzt sind. In derjenigen Lage, welche die vortretenden Ränder der Griessäulen oder Griespfeiler berührt, pflegt man die Bretter horizontal zu richten, wogegen sie in der stromaufwärts gekehrten Lage senkrecht stehn. Die Stärke der Bretter ist von der Breite des ganzen Schützes abhängig, und beträgt gemeinhin zwischen 1 und 2 Zoll. Häufig besteht das Schütz aber auch nur aus einer einzigen 2 bis 4zölligen Lage, worin die Bohlen horizontal gerichtet und durch aufgenagelte Leisten verbunden sind.

Die Vorrichtungen zum Oeffnen der Schütze sind sehr verschieden, am einfachsten ist die Fig. 179. dargestellte, die bei kleinern Freiarchen gewöhnlich gewählt wird. In der Mitte des Schützes ist nämlich zwischen den aufrechtstehenden Brettern eine starke Latte oder ein Stück Kreuzholz befestigt, welches bis über den Griesholm heraufreicht und in Abständen von etwa 6 Zoll durchbohrt und mit hölzernen Sprossen versehn ist. Ein gabelförmiger Hebel wird unter eine dieser Sprossen gesteckt und, wie die Figur zeigt, auf den Griesholm gelegt. Man kann alsdann von der Brücke aus das Schütz aufwuchten und es so hoch heben, dafs der Hebel unter die folgende Sprosse greift. Während des Umlegens des Hebels pflegt das Schütz nicht von selbst herabzusinken, indem der Druck des Oberwassers eine so starke Reibung erzeugt, dafs dadurch das Schütz schwebend erhalten wird. Sollte dieses nicht der Fall sein, so mufs man eine Leine gegen die unterste Sprosse binden, und an diese in der Zwischenzeit das Schütz hängen. Ist das Schütz ganz aus dem Wasser gezogen, oder doch so hoch, dafs es nur noch wenig eintaucht, so kann man es an dem Stiel herausziehn und vollständig ausheben. Das Wiedereinsetzen des Schützes erfolgt gemeinhin nicht früher, als wenn das Oberwasser sich schon bedeutend gesenkt hat, es gleitet daher durch sein eignes Gewicht bis auf den Fachbaum herab, oder es läfst sich doch leicht aus freier Hand herabdrücken.

In Fig. 178. ist eine einfache Winde-Vorrichtung dargestellt, die man bei gröfsern Freiarchen häufig angewendet findet. Das Schütz hängt an zwei Ketten, und die Enden derselben sind

an eine hölzerne Welle dicht unter dem Griesholm befestigt. Durch die Welle gehn zwei viereckige Löcher diametral hindurch, deren Richtungen sich unter rechten Winkeln kreuzen. Indem man passende Hebel einsteckt, so kann man daran die Welle um einen Quadrant drehn und dadurch das Schütz um 6 bis 8 Zoll heben. Während der eine Hebel aber noch in der Welle steckt und gegen die Brücke herabgedrückt wird, kann man schon den zweiten in das andre Loch einstecken, und das Schütz weiter heben. An einer Seite der Welle pflegt man noch ein eisernes Sperr-Rad zu befestigen, in welches ein Haken einfällt. Mittelst dieser Vorrichtung kann ein einzelner Arbeiter das Schütz heben, und nach dem jedesmaligen Aufwuchten den Hebel herausnehmen und wieder einsetzen. Auch wird das Aushängen des Schützes, nachdem es gehoben worden, entbehrlich, man kann es vielmehr unter dem Griesholm hängen lassen, bis es später wieder gesenkt wird.

Aufser diesen beiden Vorrichtungen zum Heben der Schütze werden häufig noch andre benutzt, wie der doppelarmige Hebel, der bei jeder Bewegung die Zugstange so weit hebt, dafs der Bolzen in die nächst folgende Oeffnung gesetzt werden kann, ferner die gezahnte Stange, in welche entweder ein Getriebe, oder ein Hebel mit Sperrhaken eingreift, oder das Schütz ist mit einer Schraubenspindel verbunden, welche durch Umdrehung einer losen Mutter gehoben und gesenkt wird. Dergleichen Einrichtungen kommen indessen bei Freiarchen seltner vor und werden daher passender bei Gelegenheit der Schütze in den Schleusenthoren beschrieben werden.

Man mufs bei Aufstellung des Projects zu einer Freiarche die betreffende mechanische Vorrichtung jedesmal so kräftig wählen, dafs man unter allen Umständen die Schütze damit heben kann. Die hierzu erforderliche Kraft ist durch den Wasserdruck und die Reibung bedingt. Welchen Druck das Wasser bei den verschiednen Wasserständen gegen ein Schütz ausübt, ist leicht zu ermitteln, man mufs aber aus wirklichen Beobachtungen oder bei neuen Anlagen durch Berechnung der jedesmaligen Stauhöhe wissen, welche Wasserstände gleichzeitig im Ober- und Unterwasser eintreten. Ein günstiger Umstand ist es, dafs bei vorkommenden Anschwellungen das Oberwasser weniger, als das Unterwasser steigt, und sonach die Niveau-Differenz beider immer geringer wird. So-

dann erhält das Schütz auch keine gröfsere Höhe, als dafs es bis zur beabsichtigten Stauhöhe heraufreicht. Sobald das Oberwasser über diese anschwillt, fliefst es schon über das Schütz fort, und bei noch höhern Anschwellungen nimmt die Ausdehnung derjenigen Fläche, welche dem Wasserdruck ausgesetzt ist, keineswegs zu, sondern bleibt constant. Indem aber die Druckhöhe oder Niveau-Differenz immer geringer wird, so kann man unter übrigens gleichen Umständen das Schütz sogar leichter heben, wenn es schon stark überströmt wird, als wenn das Oberwasser so eben seinen Rand berührt. Der Coefficient der Reibung des Schützes, wenn es sich gegen hölzerne Griessäulen lehnt, ist wegen der beständigen Benetzung nur geringe, und bei der Bewegung selbst nicht gröfser, als ein Viertel anzunehmen, während es für den Anfang der Bewegung, namentlich bei neuen Schützen dem halben Druck gleich werden kann. Hiernach läfst sich die zum Heben des Schützes erforderliche Kraft berechnen, und daraus die mechanische Vorrichtung und die Stärke der zugehörigen Theile bestimmen.

In vielen Fällen sind die einfachen Maschinen, die man gemeinhin wählen mufs, bei der geringen Anzahl von disponiblen Arbeitern, nicht genügend. Man pflegt alsdann das Schütz der Höhe nach in zwei oder auch in mehrere Theile zu zerlegen.

Eine solche Trennung des Schützes in verschiedene über einander gestellte Tafeln mufs als eine bedenkliche Anordnung angesehn werden, weil dabei leicht der Hauptzweck der Freiarche verfehlt wird. Bei mäfsigen Anschwellungen pflegen die Wärter nämlich nur das obere Schütz zu ziehn, und das untere stehn zu lassen. Häufig ist die Einrichtung auch von der Art, dafs man bei hohem Wasser das untere gar nicht fassen kann, und daher gezwungen ist, die höchsten Fluthen über dieses fortströmen zu lassen. Dabei wird alsdann das schwerere Material, welches über die Sohle des Flufs- oder Bachbettes fortrollt, oder das sich doch nur wenig darüber erhebt, vom untern Schütz aufgefangen und bleibt vor demselben liegen. Dieses geschieht oft so massenhaft, dafs die Ablagerung beseitigt werden mufs, bevor man das untere Schütz heben kann, und da Ersteres nur bei kleinem Wasser möglich ist, so unterbleibt während der ganzen Anschwellung das vollständige Oeffnen der Freiarche. Die Wirksamkeit der letztern beschränkt sich alsdann allein auf den obern Theil der Oeffnung, oder sie

leistet nur ungefähr eben so viel, als wenn der Fachbaum in der Höhe der Oberkante der untern Tafel läge. Es darf kaum erwähnt werden, dafs in diesem Fall die Versandung des Flufsbetts und alle Uebelstände sich zeigen, welche die Folge einer zu grofsen Höhe des Fachbaums sind. Das ungetheilte Schütz, welches bis zum Fachbaum herabreicht, bietet dagegen, sobald es auch nur wenig gelüftet wird, unmittelbar über der Sohle dem Strom den Durchzug, und derselbe spült daher sogleich das Gerinne aus und führt alle Stoffe durch die Freiarche hindurch.

Fig. 180. zeigt diejenige Anordnung der getheilten Schütze, die man am häufigsten wählt, die aber nach dem Vorstehenden am wenigsten zu empfehlen ist. Das obere Schütz hängt immer in den Ketten, man kann es also leicht heben, will man aber das untere ziehn, so mufs jenes zuerst gelöst und beseitigt werden, und alsdann mufs man, was nicht leicht ist, die untersten Kettenringe auf die Haken des untern Schützes zu bringen suchen.

Passender ist es das obre Schütz durch feste Ketten mit dem untern zu verbinden, wie Fig. 181. zeigt. Sobald man die Ketten aufwindet, hebt sich zuerst das obere Schütz, und nachdem dieses so hoch aufgezogen ist, dafs es entweder ganz aus dem Wasser tritt, oder doch nur einen mäfsigen Druck erleidet, so spannen sich die Verbindungsketten, und das untere Schütz wird gleichfalls gehoben. Diese Einrichtung erfordert freilich, dafs die Winde sehr hoch liegt, aber man kann das obere Schütz auch mittelst Haken an die Ketten hängen, und es ganz entfernen, sobald es aus dem Wasser gezogen ist. Beim Herablassen der Schütze mufs man in beiden Fällen sehr sorgsam darauf achten, dafs die Verbindungsketten sich nicht zwischen beide Schütze legen, sondern an einer Seite, und zwar am vortheilhaftesten an der stromabwärts gekehrten, frei herabhängen.

Endlich ist Fig. 182. noch eine Vorrichtung dargestellt, die man zuweilen anwendet, und mittelst deren sehr sicher ein Theil des Schützes nach dem andern gehoben werden kann. Man sieht das Schütz von der stromabwärts gekehrten Seite aus, so dafs die Enden der Bohlen durch den vortretenden Rand des Falzes verdeckt werden. Die einzelnen über einander stehenden Tafeln sind aus zwei Bohlen zusammengesetzt, häufig ist dabei aber jede einzelne Bohle von der andern getrennt und wird an zwei aufgenagelten

Latten ausgezogen. Die sämmtlichen Latten sind an der stromabwärts gekehrten Seite aufgenagelt, man kann daher, wenn die Ueberbrückung der Arche vor dem Grieswerk sich befindet, den obern Theil, wie jeden nächstfolgenden, frei herausnehmen, ohne dafs man dabei durch die übrigen Latten gehindert wird. Man hat aber die Gewohnheit beim Ziehn dieser Schütze, die Latten jedesmal nach der Brücke hin, also stromaufwärts zu neigen, wodurch jede Tafel um die untre Kante gedreht, und sonach die Oeffnung schon vor dem Ziehn zum Theil frei wird.

Die mittlern Griessäulen nebst den anschliefsenden Strebewänden sind dem freien Abflufs des Hochwassers durch die Freiarche hinderlich, auch können sie beim Eisgange leicht gröfsere Schollen zurückhalten und dadurch zu Eisversetzungen Veranlassung geben. Endlich sind sie selbst noch manchen Beschädigungen durch das gegenstofsende Eis und andre schwimmende Körper ausgesetzt. In der letzten Beziehung lassen sie sich freilich durch Anbringung gehöriger Verstrebungen und durch Aufnageln von eisernen Schienen auf die freistehenden Kanten sichern, nichts desto weniger ist es in vielen Fällen doch wünschenswerth, Oeffnungen von gröfserer Breite ganz frei darzustellen. Schon zum Durchlassen der Holzflösse ist dieses häufig nothwendig.

Man erreicht dieses, wenn man die Strebewände ganz fortläfst, und die Griessäulen so einrichtet, dafs sie ausgehoben werden können. Man nennt sie alsdann Setzpfosten, und sie erhalten, wie Fig. 183. zeigt, keine andre Befestigung, als dafs sie mit einem starken Zapfen im Fachbaum aufstehn, und sich oben gegen den Griesholm lehnen, auch wohl durch einen Schraubenbolzen an diesen befestigt werden. Will man sie ausheben, so neigt man ihr oberes Ende, nachdem der Schraubenbolzen ausgezogen ist, etwas stromaufwärts, damit ihre Schulter unter dem Griesholm frei wird, und wuchtet sie alsdann mit Hebeln oder durch eine Windevorrichtung herauf. Da sie in ihrem Kopfe nicht geschwächt werden dürfen, sie vielmehr mit vollem Holz sich gegen den Griesholm lehnen müssen, so giebt man ihnen gemeinhin eine gegen den Strom geneigte Stellung, wobei jedoch der Falz, in welchen das Schütz eingestellt wird, lothrecht bleibt. Alsdann ist die Backe am untern Ende des Falzes, wo im Allgemeinen der stärkste Druck stattfindet, hinreichend breit, während sie nach oben etwas schwächer

wird, aber doch bis zum Griesholm sich fortsetzt, und sonach ein regelmäfsiges Ausheben und Einsetzen der Schütze möglich macht. Der Griesholm mufs in diesem Fall, wo er durch keine Strebewände unterstützt wird, dem Wasserdruck Widerstand leisten. Er besteht daher häufig in einem verzahnten Balken, oder man bringt in der Brücke eine horizontale Verstrebung gegen die Seitenwände an. Feste Windevorrichtungen sind zwischen den Setzpfosten nicht einzurichten. Nichts desto weniger kann man die Ketten, woran die Schütze gehoben werden, an diese befestigen, und ihre obern Enden an Haken unter dem Griesholm hängen. Wenn man ein Schütz ziehen will, so stellt man eine tragbare Winde-Vorrichtung auf den Griesholm oder die Brücke, und befestigt die Enden der Kette an die Haken der Winde. Dieselbe Winde kann demnächst auch zum Ausheben der Setzpfosten benutzt werden.

Bei dieser Einrichtung bietet das Entfernen der Schütze und Setzpfosten keine Schwierigkeit, wohl aber tritt eine solche beim Einstellen der Setzpfosten ein, indem es sehr schwer ist, während einer heftigen Durchströmung das Zapfenloch im Fachbaum zu treffen. Letzteres wird daher nicht prismatisch, sondern nach oben stark erweitert eingeschnitten, und nur an der stromabwärts gekehrten Seite mufs es eben so wie der Zapfen, lothrecht ausgearbeitet sein, damit der Setzpfosten sich hier sicher anlehnen kann. Dadurch ist das Einstellen des letztern etwas erleichtert, aber man mufs doch gemeinhin sein unteres Ende noch durch umgeschlagne Taue gegen den Strom halten und das Zapfenloch lange suchen, ehe es gelingt, die Aufstellung zu bewirken.

Das in dieser Art erweiterte Zapfenloch giebt zu einem starken Durchquellen des Wassers Veranlassung, und dieses ist, abgesehn von dem Wasserverlust, insofern auch nachtheilig, als dabei der Fachbaum leidet, und die Oeffnung im Laufe der Zeit immer gröfser wird. Man vermeidet dieses, indem man eine gufseiserne Pfanne, die das Zapfenloch enthält, in den Fachbaum legt. Dieselbe mufs genau passend und wasserdicht schliefsend eingelassen werden, sie wird deshalb, nachdem der Einschnitt im Fachbaum mit einer Mischung von heifsem Theer und Ziegelmehl dick überstrichen ist, stark erwärmt eingesetzt, festgestofsen und mittelst einiger Holzschrauben befestigt. In Fig. 183. *a* und *b* ist die Pfanne durch die starke Schraffirung bezeichnet. Auch den Fufs des Setz-

pfostens verstärkt man zuweilen mit Eisen, indem eine Schiene in die stromabwärts gekehrte Fläche eingelassen wird, die den Zapfen an der Seite überdeckt, wo er sich gegen den Schuh lehnt.

Statt der Schütze wendet man in gröfsern Oeffnungen nicht selten Balken an, die man einzeln über einander legt, so dafs sie eine senkrechte Wand bilden, und den beabsichtigten Schlufs bewirken. Man nennt sie Dammbalken oder Versatzbalken. Sie sind mit keiner Spundung versehn, sondern liegen stumpf aufeinander, woher gemeinhin das Wasser durch die Fugen hindurchdringt, und zwar vorzugsweise nachdem die Balken eben eingelegt sind, da sie beim spätern Quellen einen dichteren Schlufs bilden.

Oeffnungen von 15 bis 20 Fufs Weite werden, selbst wenn die Niveau-Differenz oder der Wasserdruck bedeutend ist, durch Dammbalken noch sicher geschlossen, es kommen aber auch Fälle vor, dafs man Oeffnungen, deren Weite 30 und sogar 35 Fufs beträgt, in gleicher Weise schliefst. Das Einlegen und Ausheben der Balken ist indessen bei solcher Länge und entsprechender Stärke sehr beschwerlich und zeitraubend, woher man sich gemeinhin auf geringere Längen beschränkt, und lieber durch Zwischenpfeiler die Anzahl der Oeffnungen vergröfsert.

Wenn der Boden der Arche aus Holz besteht, so mufs der unterste Dammbalken auf einen Fachbaum treffen, damit an der Stelle, wo der Stau sich bildet, auch der Untergrund möglichst gedichtet ist. Der Balken liegt in diesem Fall wieder stumpf auf, indem die Bohlen des Vor- und Hinterbodens mit der Oberfläche des Fachbaums bündig sind, wie Fig. 184. *b* auf Taf. XXII. zeigt. Hat die Arche dagegen einen massiven Boden, so pflegen Werkstücke die Stelle des Fachbaums zu vertreten, und gewöhnlich liegt der untere Balken wieder stumpf auf denselben. Zuweilen geschieht es aber auch, dafs man eine Nuthe von 4 Zoll Tiefe darin anbringt, die etwas breiter als der Dammbalken ist, so dafs letzterer beim Einlegen darin versenkt wird. Dieses geschieht, um die untere Fuge zwischen Holz und Stein eben so dicht zu machen, als die andern Fugen zwischen den einzelnen Balken sind. Die Nuthe mufs indessen breiter sein als der Balken, weil dieser sonst nicht leicht eingelegt werden könnte, und der dichte Schlufs bildet sich in der stromabwärts gekehrten Berührungsfläche desselben. Dieser Schlufs kann aber bei solcher Anordnung leicht undicht werden, wenn Kies

oder Sand in der vertieften Nuthe liegt. Hiernach ist es wohl vortheilhafter, die Nuthe nicht anzubringen. Derselbe Grund, der beim gewöhnlichen Schütz die Nuthe oder den Falz im Boden verbietet, kommt hier weniger in Betracht, da der erste Balken das Durchflufsprofil noch nicht merklich verengt, und daher anfangs nicht durchgebogen wird.

Die Köpfe der Dammbalken müssen sich gegen die Pfeiler lehnen, damit der Wasserdruck sie nicht herausstöfst. Gemeinhin befinden sich zu diesem Zweck in den Pfeilern vertiefte Rinnen oder Nuthen, die man Damm-Falze oder Damm-Nuthen nennt.

Fig. 184. *a* zeigt diese Anordnung. Das Einlegen der Balken kann alsdann aber nur von oben geschehn, indem man sie aus dem Wasser hebt, über die Oeffnung bringt, und in den Nuthen herabläfst. Hat man dagegen statt der Nuthen, Falze gewählt, wie Figur 185. zeigt, so braucht man die Balken nicht auf die Pfeiler zu heben, man kann sie vielmehr schwimmend einlegen. Man zieht sie nämlich, sobald der Stau wieder dargestellt werden soll, durch die Arche hindurch in das Oberwasser, und läfst sie durch den Strom herabtreiben. Man hat aber zuvor in das vordere Ende des Balkens einen Haken eingestofsen, und führt dieses, wie die Figur zeigt, in die Ecke des Falzes, worauf der Strom den Balken in die erforderliche Lage treibt.

Um die Mauerecken zu sichern, und um zugleich die Reibung beim Aus- und Einbringen der Balken etwas zu vermindern, setzt man zuweilen hölzerne Stiele in die Falze oder Nuthen so ein, dafs die Dammbalken sich dagegen lehnen. Die Befestigung der Stiele erfolgt durch Schraubenbolzen, deren hintere Enden in die Steine eingelassen und mit Blei vergossen sind. Die Dichtigkeit des Schlusses pflegt indessen hierbei zu leiden, da der Stiel sich nicht so scharf an die Mauer anschliefst, als die einzelnen Balkenköpfe. Wenn man daher feste Steine benutzen kann, so ist es besser, die Stiele nicht anzubringen.

Das Ausheben und Einlegen der Dammbalken ist in allen Fällen eine mühsame Arbeit, und wird bei längern Balken unmöglich, wenn man nicht besondre Vorkehrungen zum Fassen derselben trifft. Jedenfalls müssen die Haken oder Ringe in der Mittellinie der Oberfläche sich befinden, denn wenn sie an der Seite stehn, wie zuweilen vorkommt, so hat der Balken, sobald er aufgezogen

wird, die Tendenz, sich zu drehn, und zwar so weit, dafs die Diagonale in die Richtung des Loths kommt, wodurch in den Nuthen eine starke Klemmung eintritt und selbst in den Falzen die Reibung vermehrt wird.

Häufig wendet man feste Haken an, die durch Schraubmuttern gehalten werden, und vor die Oberfläche vortreten. Fig. 186. *a* und *b* zeigt diese Anordnung in der Seitenansicht, und im Längen- und Querdurchschnitt. Ueber jedem Haken mufs der darüber liegende Balken mit einer Vertiefung versehn sein, damit die Berührung in der vollen Fläche nicht verhindert wird. Am besten ist es, wenn alle Haken und Vertiefungen in derselben Entfernung vom Ende der Balken angebracht sind, weil man alsdann beim Aufstellen der Wand nicht eine bestimmte Reihenfolge der Balken beobachten darf. Sehr mühsam ist es aber, und bei starker Strömung wird es sogar oft unmöglich, die in der Oberfläche des Balkens vortretenden Haken zu fassen.

Diese Operation wird sehr erleichtert, wenn der Haken oder die sonstige Vorrichtung an der stromaufwärts gekehrten Seite des Dammbalkens sich befindet. Alsdann kann man nämlich die Stange, mittelst deren man die Verbindung mit der Zugkette darstellt, gegen den Balken lehnen, und sie an dessen vorderer Seite so weit führen, bis man den Haken trifft. Besonders vortheilhaft ist es aber in diesem Fall statt der letzteren Ringe zu wählen, die von selbst niederfallen, und wenn sie gefafst sind sich wieder aufrichten. Sie liegen in entsprechenden Vertiefungen, so dafs sie vor den obern Flächen der Balken nicht vorragen, wohl aber reichen sie bis über deren Seitenfläche hinaus, und können hier leicht gefafst werden. Fig. 187. *a* zeigt die Ansicht der stromaufwärts gekehrten Seite, und zwar mit aufrechtstehenden, und mit niedergelegten Ringen, *d* zeigt die beiden entsprechenden Ansichten von oben, *c* ist die Ansicht der schmalen Seite der Wand, und *b* der Querdurchschnitt.

Will man die Balken ausheben, so geschieht dieses mittelst eines Hakens an einer Stange, der mit derjenigen Kette verbunden ist, woran der Zug ausgeübt wird. Man lehnt den Haken, wie Figur 188. *a* und *b* zeigt, an die stromaufwärts gekehrte Seite des Dammbalkens, und bewegt ihn längs derselben, bis man an den Ring stöfst. Wird alsdann die Stange oder die Kette angezogen,

so greift der Haken in den Ring und richtet ihn auf. Es ist dabei ohne Nachtheil, dafs die Stange neben der Kette hängen bleibt, indem sie eine schräge Stellung annimmt, und sonach bei der Ausübung des Zuges durch die Windevorrichtung nicht hinderlich ist.

Demnächst ist es erforderlich, dafs jeder einzelne Dammbalken, sowol beim Ausheben, als beim Einlegen möglichst horizontal gehalten wird. Man erreicht dieses schon durch eine Windevorrichtung ähnlich der in Fig. 178. *c* auf Taf. XXI. dargestellten. In diesem Fall mufs die Welle, um welche die Ketten sich aufwinden, über die ganze Oeffnung reichen. Die Ketten sind gleich lang und werden nach und nach mit den beiden Haken oder Ringen jedes einzelnen Dammbalkens in Verbindung gebracht. Wegen des gröfsern Gewichts, hauptsächlich aber um das Manöver vom Ufer aus vornehmen zu können, erfolgt die Drehung der Welle nicht mehr durch eingesteckte Hebel, sondern durch andre mechanische Vorrichtungen.

Bei langen Balken wird indessen der Gebrauch der Welle unbequem und unsicher. Man wählt alsdann lieber eine Windevorrichtung, die auf dem Ufer steht. Fig. 189. auf Taf. XXII. zeigt, wie man die Taue oder Ketten in diesem Fall führt, um sie gleichmäfsig anzuziehn, und dadurch die Balken in horizontaler Lage zu halten. Beide Taue oder Ketten legen sich dabei gemeinschaftlich um eine Winde, und zwar in den meisten Fällen um die Trommel einer Erdwinde, bei sehr grofsen und schweren Dammbalken aber auch wohl um den Tummelbaum eines Pferdegöpels. Recht bequem ist endlich noch der Gebrauch eines Hebels, den Figur 190. zeigt, der hier zwar nicht den Balken hebt, sondern herabdrückt, jedoch mit geringer Aenderung auch den ersten Zweck erfüllt. Neben jeder Nuthe oder jedem Falz stehn nämlich zwei eiserne Stützen, oben mit Bolzenlöchern versehn. Man legt zwischen sie einen hölzernen Hebel, der vorn in einen eisernen Dorn endet, womit er die Kettenglieder fafst. Ein Bolzen verbindet den Hebel mit den Stützen. Wenn der lange Arm des Hebels durch einen oder mehrere Arbeiter herabgedrückt wird, so hebt sich das damit verbundene Ende des Balkens. So lange der Balken noch unter Wasser liegt, wird er durch den Druck desselben am Herabfallen gehindert, man braucht daher während der Zeit, dafs man den kürzern Hebelsarm senkt und einen andern Ring der Kette aufsteckt,

nicht für eine besondere Unterstützung des Balkens zu sorgen. Diese Vorsicht wird erst nöthig, wenn der Balken über dem Wasser schwebt, in welchem Falle er abgefangen werden mufs. Hierbei werden die beiden Enden des Balkens unabhängig von einander gehoben, und es ist daher nothwendig, dafs auf beiden Seiten immer die entsprechenden Glieder der Kette gefafst werden.

Beim Einlegen der Balken stellt sich die Schwierigkeit dar, dafs der Balken durch sein eignes Gewicht nur so weit herabsinkt, dafs er eben vom Wasser bedeckt wird. Er sinkt freilich tiefer, wenn man den folgenden Dammbalken oder mehrere darüber legt, aber eben hierdurch erzeugt man einen gröfsern Stau, und vermehrt dadurch den Wasserdruck und die Reibung, so dafs es oft sehr mühsam wird, die aus mehreren Balken gebildete und noch schwebende Wand herabzubringen. Es ist daher sicherer, wenn man jeden einzelnen Balken mittelst aufgesetzter Bäume an beiden Enden gleich vollständig herabstöfst. Hat man die letzterwähnte Hebelvorrichtung gewählt, so kann dieselbe auch zum Herabdrücken der Dammbalken dienen, wie die Figur zeigt. Die aufgesetzten Bäume sind nämlich mit Zahnschnitten versehn, welche vom erwähnten Dorn des Hebels gefafst und herabgedrückt werden.

Selbst bei Anwendung der bequemsten Vorrichtungen ist das Ausheben der Dammbalken bei plötzlich eintretenden Anschwellungen sehr schwierig, und wird sogar unmöglich, wenn das Wasser schon in grofser Höhe darüber strömt. Wenn daher der Wärter die Operation nicht zeitig genug beginnt, so kann er sie nicht mehr vollständig ausführen, sobald aber die untern Dammbalken nicht beseitigt werden, so tritt derselbe Uebelstand ein, als wenn in einer Freiarche der untere Theil des Schützes nicht gehoben wird.

Man hat aus diesem Grunde Vorrichtungen ersonnen, wodurch die ganze Dammwand, und zwar bis zum untersten Balken, plötzlich entfernt werden kann. Dieses geschieht dadurch, dafs die Balken an der einen Seite sich nicht gegen einen Vorsprung der Mauer, sondern gegen einen hölzernen Stiel lehnen, der auf irgend eine Weise schnell beseitigt werden kann. Die Balkenwand pflegt in diesem Fall noch weniger wasserdicht zu sein, indem jener Stiel nur zur Seite der Mauer steht, auch nicht durch den Wasserdruck dagegen gepreſst wird. Aufserdem treten beim plötzlichen Oeffnen der Wand, das mit grofser Heftigkeit erfolgt, auch häufig Beschä-

digungen ein, welche das Wiederaufstellen erschweren. Es geschieht daher nicht selten, dafs man der Sicherheit wegen noch eine zweite Stauvorrichtung zum Einbringen einer festen Balkenwand anlegt, die leicht beseitigt werden kann, so lange die erste noch die Durchströmung verhindert.

Zweckmäfsiger ist es, die Dammbalken an einer Seite gegen eine Wendesäule zu lehnen, die in gleicher Art wie die Wendesäule eines Schleusenthors aufgestellt ist, und sich um eine vertikale Achse dreht. Am untern Ende derselben erfolgt die Drehung um einen Zapfen, der in einer Pfanne steht, oben ist dagegen der Hals der Säule cylindrisch bearbeitet und wird von einem eisernen Halsbande umfafst, welches durch gehörig befestigte Anker mit der Mauer verbunden ist. Fig. 191. *a* und *b* zeigt diese Anordnung. Unter dem Halsbande hat die Wendesäule eine gröfsere Breite, so dafs sie an einer Seite 4 bis 6 Zoll vor die Mauer vortritt. In den Figuren ist die Säule in solcher Stellung gezeichnet, dafs dieser Vorsprung oder das Blatt vor die Mauer tritt und den Falz bildet, an welchen sich die Balkenköpfe lehnen. Mit dem andern Ende lehnen sie sich in gewöhnlicher Weise gegen einen in der Mauer selbst angebrachten Falz. Die Wendesäule würde durch den Wasserdruck sogleich gedreht werden, wenn sie nicht durch eine besondere Vorrichtung in ihrer Stellung gehalten würde. Häufig geschieht dieses durch einen horizontalen Hebel, der an ihrem Kopfe befestigt ist, und sich gegen einen beweglichen Haken oder Bolzen lehnt, oder von einer Kette gehalten wird. Einfacher und eben so sicher ist dagegen die hier gezeichnete Vorrichtung, die an den Schiffsdurchlässen des Orb und Allier vorkommt. Unterhalb der Wendesäule sind nämlich starke eichene Bohlenstücke in das Mauerwerk eingelassen und mittelst Schraubenbolzen befestigt. Zwischen diese und das vorspringende Blatt der Wendesäule treibt man in horizontaler Richtung den Keil *A* ein, der die Drehung verhindert. Man pflegt sowohl den Keil selbst, als die beiden Flächen, die er berührt, mit Eisenblech zu bekleiden, um die Abnutzung zu vermindern.

Will man die Dammwand entfernen, so braucht man nur den Keil herauszuschlagen. Derselbe ist aber durch eine Kette an den Kopf der Wendesäule befestigt und bleibt daher daran hängen. Sobald er herausgestofsen ist, schieben die Dammbalken in Folge des

Wasserdrucks das Blatt der Wendesäule, das nicht mehr gehalten wird, vor sich in die Nische der Mauer. Diese Nische mufs so grofs sein, dafs sie die Wendesäule vollständig aufnimmt. Die Dammbalken drehn sich alsdann sämmtlich stromabwärts und schwimmen aus der Arche heraus. Auf diese Weise wird die ganze Oeffnung momentan geöffnet. Damit die Dammbalken nicht verloren werden, oder weit herabschwimmen, pflegt man sie an den Enden, welche sich gegen den festen Mauerfalz lehnen, mit Ketten zu versehn, die an die Mauer befestigt sind. Häufig bringt man auch nur eine Kette an dem untersten Balken an, welche durch die Ringe an den übrigen gezogen ist.

Zuweilen erhält die Wendesäule, an welche die Dammbalken sich lehnen, auch eine andre Einrichtung, wodurch ein besserer Anschlufs derselben an das Mauerwerk möglich, und das Durchdringen des Wassers zwischen beiden, ebenso wie neben der Wendesäule eines Schleusenthors verhindert werden kann. Fig. 200. auf Taf. XXIV. stellt diese dar, wie ich sie bei Calais gesehn habe. Die Stauvorrichtung daselbst enthält mehrere Gerinne zwischen massiven Mittelpfeilern, jedes derselben ist 14 Fufs 9 Zoll im Lichten weit. Fig. 200. *a* zeigt die Vorrichtung mit den eingelegten Dammbalken, also in derjenigen Stellung, die sie annimmt, wenn die Oeffnung geschlossen ist. Die Wendesäule dreht sich in einer Nische, die in cylindrischer Form möglichst sorgfältig in Werkstücken ausgearbeitet ist. Unten steht sie in gleicher Art, wie die Wendesäule eines Schleusenthors, mit einer Pfanne auf einem aufwärts gerichteten Zapfen, oben dagegen wird ihr Hals, der mit einem Ringe aus Glockenmetall bekleidet ist, von einem eisernen, mit zwei Ankern verbundenen Halsbande umfafst. Die cylindrische Oberfläche, nach der die Säule und die Wendenische ausgearbeitet sind, ist mit dem Radius von 10 Zoll beschrieben. In der Säule befindet sich jedoch der Länge nach ein Einschnitt, worin die Dammbalken liegen, und die Ebne, wogegen dieselben sich lehnen, ist mit starkem Eisenblech verkleidet.

Um die Säule in derjenigen Stellung zu halten, wobei die Dammbalken sicher unterstützt werden, tritt aus der obern Fläche der Wendesäule ein starker eiserner Bolzen vor. An letzteren ist ein Haken befestigt, der bei richtiger Stellung der Säule in eine Oese pafst, welche in ein Werkstück eingelassen ist. Sobald der Haken

hier eingreift, wird er durch ein Vorlegeschloſs darin befestigt, damit nicht etwa durch muthwilliges Auslösen der Stau aufgehoben werden kann. Nachdem in dieser Art der vor die Seitenwände des Gerinnes vortretende Falz gebildet ist, werden die Dammbalken eingesetzt. Zur Erleichterung dienen dabei nicht nur Winden, die man auf die Pfeiler stellt, sondern es sind daneben auch eiserne Böcke befindlich, worauf die Dammbalken liegen und leicht gefaſst werden können.

Will man den Stau aufheben, so darf man nur das Schloſs beseitigen und den Haken aus der Oese schlagen, worauf die Säule sich so weit dreht, daſs alle Balken durch den Wasserdruck herausgestoſsen werden. Fig. *b* zeigt die Stellung, welche die Säule alsdann einnimmt.

Statt der Wendesäule, die sich um eine vertikale Achse dreht, wählt man zuweilen auch Klapp-Pfosten, die unten Charniere haben und sich flach auf den Boden niederlegen. Figur 192. auf Taf. XXII. zeigt solche nebst der ganzen Stau-Vorrichtung, die auf dem Seille-Fuſs ohnfern dessen Mündung in die Saone 1818 ausgeführt wurde. *) Die Freiarche hat neun Oeffnungen. Sieben derselben zunächst am rechten Ufer sind mit dieser Stauvorrichtung versehn und dienen zur Abführung des Hochwassers, die achte wird durch drei Schütze geschlossen und die neunte führt das Wasser zur Mühle. Die Pfosten, gegen welchen die Dammbalken sich lehnen, werden durch eiserne Riegel, die man leicht zurückschlagen kann, in der aufrechten Stellung gehalten.

Das Herabstoſsen der Dammbalken, besonders bis zu gröſserer Tiefe, ist gemeinhin recht mühsam, doch wird es wesentlich erleichtert, wenn die Pfosten, wogegen sich die Balken lehnen, und sonach die ganze Dammwand etwas stromaufwärts geneigt ist, denn alsdann drückt der darüber gehende Strom sie schon von selbst herab. Diese Anordnung ist für mehrere Schiffsdurchlässe auf dem *Ill* zwischen Colmar und Strasburg gewählt, woselbst die Balken, die freilich nur geringe Dimensionen haben, leicht durch einen einzigen Arbeiter eingelegt werden können. **) In dem Wehr bei *Illkirch* waren die Dammbalken 16⅓ Fuſs lang, 4½ Zoll hoch und

---

*) *Annales des ponts et chaussées* 1836. *I. p.* 180.

**) *Annales des ponts et chaussées* 1846. *II. p.* 239.

5½ Zoll breit, der Stau betrug nur 2 bis 3 Fufs. An einen Pfeiler war ein hölzerner Pfosten befestigt, gegenüber befand sich der Klapp-Pfosten, der durch einen vorgeschobenen Riegel in seiner Stellung gehalten wurde. Beide waren stromaufwärts gegen das Loth geneigt. Der Klapp-Pfosten, wie jeder Dammbalken war an eine Kette befestigt. Sollte ein Balken eingelegt werden, so wurde derselbe in einer Rinne am untern Ende des Pfeilers aufgezogen, über den letztern geschoben, und von dessen oberen Ende so herabgestofsen, dafs er neben einer Pfahlwand in der Verlängerung des Pfeilers schwamm. Während er an der Kette gehalten wurde, faſste ihn der Strom und trieb ihn quer gegen die beiden Pfosten, der Arbeiter mufste ihn aber mit der Kette so anziehn oder zurückhalten, dafs gleichzeitig seine beiden Enden die Pfosten trafen, denn nur in diesem Fall sank er horizontal herab. Berührte er dagegen einen Pfosten früher, als den andern, so senkte er sich neben dem ersten tiefer, als neben dem zweiten, und mufste alsdann hier noch herabgedrückt werden. Indem jede Kette, die an einem Ende jedes Balkens befestigt war, mit dem daran befindlichen Ringe über einen Bolzen auf dem Pfeiler gezogen wurde, so konnten beim Fortschlagen des Riegels, wodurch der Pfosten die Haltung verlor und alle Balken frei wurden, letztere nicht forttreiben, sie schwammen vielmehr neben dem Pfeiler, von welchem aus sie eingelegt waren.

§. 47.

Bewegliche Wehre.

Indem die Wehre mit seltenen Ausnahmen nur den Zweck haben, während des niedrigen oder vielleicht auch während des mittleren Wassers dieses vor sich aufzustauen, sie dagegen bei hohen Anschwellungen wegen der Beschränkung des Fluth-Profils mehr oder weniger nachtheilig sind, so hat man sich vielfach bemüht, sie so anzuordnen, dafs man sie, wenn es nöthig ist, ganz beseitigen kann, oder auch wohl, dafs sie sich von selbst niederlegen, sobald das Oberwasser eine gewisse Höhe erreicht.

Die Freiarche, besonders wenn sie mit Setzpfosten versehn

ist, welche man ausheben kann, stellt schon ein bewegliches Wehr dar. Da man jedoch ihre Weite immer auf das geringste Maafs beschränkt, so befindet sich gemeinhin daneben noch ein festes Wehr. Nicht selten ist das feste Wehr nur in mäfsiger Höhe angelegt, und auf demselben befindet sich noch die Vorrichtung, den Stau zu vermehren. Vielfach bedient man sich hierbei nur einfacher Bretter, die gegen hölzerne oder eiserne Pfosten gelehnt, hochkantig auf den Wehrrücken gestellt werden, doch zuweilen sind statt dieser Bretter besondere Stau-Vorrichtungen mit Schützen angebracht. Das Oeffnen der letzteren bei plötzlich eintretendem Hochwasser, oder auch bei andrer Veranlassung, ist indessen, wenn das Wehr eine bedeutende Länge hat, sehr schwierig, und läfst sich nur rechtzeitig bewirken, wenn man eine zahlreiche Mannschaft benutzen kann. Anlagen dieser Art kommen daher nur neben Festungen vor, wo es darauf ankommt, möglichst schnell starke Strömungen oder Inundationen darzustellen.

In den Schiffsdurchlässen der Mayenne, Sarthe und des Loir hat man zur Schliefsung derselben Vorrichtungen angewendet, welche den Uebergang zwischen Schützen und den später zu beschreibenden Nadeln bilden. Die Oeffnungen zwischen den beiderseitigen Bohlwerken sind etwa 15 Fufs weit. Ein starker Balken, der die Stelle des Griesholms vertritt, dreht sich um einen lothrechten Zapfen auf der einen Seitenwand, und indem er rückwärts verlängert und hier hinreichend beschwert ist, so läfst er sich leicht über die Oeffnung legen, worauf er durch einen vorgeschobnen Riegel befestigt wird. Er ist überdiefs mit einer leichten Laufbrücke auf der stromaufwärts gekehrten Seite mit Einschnitten versehn, in welche man die Setzpfosten stellt, deren untere Enden in entsprechende Einschnitte des Fachbaums eingreifen. Es werden sieben solcher Setzpfosten eingeschoben, die zwischen sich Oeffnungen von etwa 15 Zoll Weite freilassen, und diese schliefst man durch kleine Schütztafeln, deren jedesmal vier von 1 Fufs Höhe übereinander stehn. Die Stiele zum Ziehn derselben, an der stromabwärts gekehrten Seite angebracht, sind aber versetzt, so dafs sie sämmtlich von der Brücke aus gefafst werden können. Das Oeffnen wie das Schliefsen dieser Stau-Vorrichtung kann leicht durch einen einzigen Arbeiter ausgeführt werden. Sind die kleinen Schiffe durchgegangen, so wird der Griesholm übergelegt und befestigt. Darauf stellt

man die leichten Setzpfosten ein, was nicht schwierig ist, insofern der Wasserstand an beiden Seiten nahe derselbe ist, auch die Setzpfosten selbst noch keinen merklichen Stau erzeugen. Endlich werden zunächst die untern Schütze und hierauf nach und nach die folgenden eingeschoben. *)

Unter den verschiedenen Vorrichtungen zur Erhöhung des Wehrrückens, so oft dieses erforderlich ist, mag zunächst diejenige beschrieben werden, die Poirée im Jahr 1853 in einem Seitenarm der Seine in Paris ausführte. Der Abfallboden des massiven festen Wehrs war nach einer cylindrischen Fläche geformt, deren Achse horizontal lag. An diese Achse war eine andre cylindrische Fläche aus Eisenblech befestigt, die möglichst schliefsend die erstere berührte, aber noch über den obern Rand derselben fortgeschoben werden konnte, so dafs hierdurch die Erhöhung des Wehrrückens erfolgte. Die letzte Fläche war übereinstimmend mit der Weite der Oeffnung 28 Fufs lang, und maafs in der Sehne ungefähr 10 Fufs. Um ein Durchbiegen zu verhindern war sie durch kräftige eiserne Vergitterungen unterstützt, und durch solche mit der Achse verbunden. Zu ihrer Bewegung diente ein Vorgelege mit Kurbel, das in einen gezahnten Bogen eingriff, während ein frei herabhängendes Gegengewicht ungefähr ihrem Gewichte entsprach. **)

Von grofser Bedeutung sind die Klappen-Wehre, die mit verschiedenen Modificationen in Frankreich vielfache Anwendung gefunden haben. Auf der Sohle oder auf dem in mäfsiger Höhe über dem Flufsbette liegenden festen Rücken des Wehrs befinden sich Klappen oder hölzerne Tafeln, die sich lothrecht, oder doch nahe lothrecht aufstellen und wieder flach niederlegen lassen. Wenn sie aufrecht stehn, stauen sie vor sich das Wasser auf, doch hemmen sie nicht den Abfluſs desselben zur Zeit höherer Anschwellungen, indem sie alsdann auf dem Grunde liegen, auch keine Griessäulen oder sonstige Pfosten und Wände zwischen den Klappen stehn bleiben, vielmehr die ganze Oeffnung, in welcher sie angebracht sind, frei wird.

Zunächst mag diejenige Einrichtung derselben beschrieben wer-

---

*) *Recueil de dessins rélatifs à l'art de l'Ingenieur.* I. Taf. 60.

**) Erbkam's Zeitschrift für das Bauwesen 1864, S. 255.

den, die Thénard im Isle-Fluſs, Departement de la Dordogne, 1828 bis 1832 ausführte. *) Die Commission, welche dieselben im Jahr 1841 untersuchte, spricht sich darüber sehr vortheilhaft aus.

Fig. 195. *a*, *b*, *c* und *d* auf Taf. XXIII. zeigt diese Klappen theils geschlossen und theils geöffnet in der Ansicht vom Oberwasser aus (*a*), und im Grundriſs (*b*), so wie in zwei Querprofilen (*c* und *d*). Die Länge des Wehrs mißt 151 Fuſs.

Zur Seite desselben liegt eine Schiffsschleuse und zwei Gerinne. Der Stau wird durch diejenigen Klappen bewirkt, die dem Unterwasser zunächst liegen und stromabwärts niederschlagen. Wenn sie aufgerichtet sind, wie Fig. *c* zeigt, so werden sie in dieser Stellung durch eiserne Streben oder Stützen gehalten, die sich gegen eiserne Schuhe auf dem Boden lehnen. Sobald man die Stützen etwas seitwärts schiebt, so werden sie frei und die Klappen fallen unter dem Druck des Wassers von selbst nieder. Hierzu dient eine eiserne, mit vortretenden Daumen versehene Stange, die sich über das ganze Wehr fortzieht, und an ihrem Ende, wo sie in dem Landpfeiler liegt, sich in eine gezahnte Stange verwandelt. Ein mit einer Kurbel versehenes Getriebe greift hier in sie ein, und mittelst desselben kann sie vor und zurückgeschoben werden. Die Stange faſst aber nicht gleichzeitig die sämmtlichen Stützen, sondern die Daumen, deren gegenseitiger Abstand um 2 Zoll gröſser ist, als derjenige der Stützen, schiebt nur eine nach der andern zurück, wodurch die hierzu erforderliche Kraft sich wesentlich ermäſsigt.

Das Aufrichten der Klappen gegen den Wasserdruck würde sehr schwierig sein, wenn man den Druck nicht während dieser Zeit beseitigen könnte. Hierzu dienen die Gegenklappen, die stromaufwärts niederschlagen. Sie sind gewöhnlich, sowohl bei kleinem, wie bei hohem Wasser niedergelegt, und greifen jede mittelst eines Federhakens in einen Riegel, der auf dem Kopfe eines davorstehenden Pfahls befestigt ist. Diese Riegel lassen sich in derselben Art, wie dieses bei den ersten Klappen geschieht, durch eine zweite eiserne Stange und ein zweites Getriebe auslösen, und zwar wieder nicht gleichzeitig, sondern einer nach dem andern. Sobald einer von diesen Riegeln sich löst, faſst der Strom, der am Vorboden des Wehrs ansteigt, die Gegenklappe, und richtet sie so weit

*) *Annales des ponts et chaussées* 1841. *II.* *p.* 45.

auf, als die Ketten dieses erlauben. Das Wasser wird alsdann durch sie aufgestaut, und es vergehn mehrere Minuten, bis das Wasser über sie herüberfliefst. In dieser Zwischenzeit bleibt der untere Theil des Wehrrückens trocken, und der Wärter kann alsdann ohne Gefahr auf das Wehr herabsteigen und eine Klappe nach der andern aufrichten. Die Operation wird an der Seite angefangen, wo der Wärter herabsteigt, und von hier bis zum andern Ufern fortgesetzt. Alsdann wartet der Wärter so lange, bis das Wasser den obern Rand der Gegenklappen erreicht und die Hauptklappen in Wirksamkeit treten. Alsdann hört der Druck auf die Gegenklappen auf, und man kann eine nach der andern mit einer Stange niederstofsen, so dafs der Federhaken aufs Neue eingreift und sie festhält.

Die Commission, welche die auf dem Isle ausgeführten drei Anlagen dieser Art untersuchte, spricht die Ansicht aus, dafs man die Klappen 3 bis 4 Fufs hoch machen dürfe, dafs aber bei der letzten Höhe ihre Breite auf 4 Fufs beschränkt werden müsse, weil ihre Einstellung und Auslösung sonst zu schwierig sein würde. Es darf kaum bemerkt werden, dafs durch diese Stau-Vorrichtung keineswegs ein wasserdichter Verschluſs erreicht wird. Die Klappen dürfen sich nämlich nicht unmittelbar berühren, weil ihre Beweglichkeit dadurch leiden würde, und man muſs sonach freie Räume von einigen Zollen Breite dazwischen lassen. Dieser Wasserverlust ist indessen, so lange es sich um Schiffbarmachung eines Flusses handelt, ohne Nachtheil, da die abwärts belegene Strecke, nachdem der Stau dargestellt ist, doch immer die zufliefsende Wassermenge aufnehmen muſs.

In neuerer Zeit hat man bei den Klappen die Aenderung eingeführt, dafs sie sich zwar noch um horizontale Achsen drehn, diese sich aber nicht an ihrem untern Rande, vielmehr in grösserer Höhe befinden. Dabei tritt freilich der Uebelstand ein, dafs die Klappe, wenn sie geöffnet ist, das Durchfluſs-Profil etwas beschränkt, doch läfst sich dieses, wie nachstehend gezeigt werden wird, auch vermeiden, und der Umstand, dafs bei höherer Anschwellung der Druck gegen den obern Flügel zunimmt, veranlafst sogar, dafs bei plötzlich eintretendem Hochwasser dieser Flügel zurückgedrängt wird, und das Wehr ganz unabhängig von der Aufmerksamkeit des Wärters sich von selbst öffnet. Läge die Oeffnung so hoch,

dafs das Unterwasser die Klappe gar nicht berührte, und wären die beiden Flügel der letztern in ihren Gewichten so abgeglichen, dafs sie sich stets das Gleichgewicht hielten, so müfste die Drehungs-Achse in einer Höhe liegen, die dem dritten Theil der Niveau-Differenz zwischen der Schwelle des Wehrs und der höchsten noch zulässigen Stauhöhe gleich ist. So lange letztere nicht erreicht wird, bleibt alsdann die Klappe geschlossen, sie öffnet sich aber, sobald das Wasser noch höher steigt. Eine am untern Ende der Klappe angebrachte Kette verhindert, dafs sie sich der horizontalen Lage nähert. Bei fallendem Wasser schliefst sie sich wieder von selbst, und bildet also ein selbstthätiges Wehr. In welcher Höhe die Drehungs-Achse anzubringen, wenn das Unterwasser gegen die Klappe tritt, und diese behufs der nöthigen Solidität hier oder dort schwerer wird, so dafs sie nicht in allen Lagen im Gleichgewicht sich befindet, läfst sich leicht berechnen.

Dabei darf man indessen nicht unbeachtet lassen, dafs die Klappe hinreichend steif sein mufs, um nicht durchzubiegen. Es war ums Jahr 1830, als man auf einem Wehr der Ruhr eine Erhöhung des Rückens in dieser Art versuchte. Die hochkantig auf einander befestigten Bohlen bogen aber bei ihrer grofsen Länge so stark durch, dafs die Drehung nicht erfolgen konnte. Dieser Umstand ist wohl Veranlassung, dafs man nur Oeffnungen von mäfsiger Weite durch solche Klappen geschlossen hat.

Fig. 194. *a*, *b* und *c* zeigt eine Stau-Vorrichtung dieser Art, die in Riom im Departement Puy de Dôme ausgeführt ist.*) Dieselbe hat drei durch massive Pfeiler getrennte Oeffnungen von nahe 13 Fufs Weite. Die Klappen aus doppelten Bohlen bestehend sind $2\frac{1}{4}$ Fufs hoch, und greifen in flache Nischen der Pfeiler ein, gegen deren vortretende Ränder sie sich stützen, und dabei einen vollständigeren Schlufs darstellen, als wenn sie nur stumpf gegen Mauern träten. Die Zeichnungen ergeben, wie sie sich dem Hinterboden anschliefsen, sobald sie niedergelegt sind. Sie erheben sich aber nicht von selbst bei fallendem Wasser, müssen vielmehr von den Pfeilern aus mit Haken gefafst und aufgerichtet werden.

Eine wesentliche Verbesserung wurde später hierbei eingeführt, indem die Träger der Drehungs-Achsen eine solche Aufstel-

*) *Annales des ponts et chaussées* 1842. *I. p.* 231.

lung erhielten, dafs sie gleichfalls niedergelegt werden konnten. Dadurch wurde es möglich, den einzelnen Klappen geringere Breite zu geben, und eine grofse Anzahl derselben zwischen den festen Wänden aufzustellen. Die gehörige Unterstützung dieser Träger, sobald sie aufgerichtet waren, liefs sich leicht erreichen. Es blieb indessen noch die Schwierigkeit, die Klappen gegen den Strom zu heben und aufzurichten. Man versuchte Anfangs, dieses durch verschiedne mechanische Vorrichtungen zu thun, welche durch die Strömung in Bewegung gesetzt werden sollten, doch entdeckte man dafür bald ein andres sehr einfaches Mittel. Wenn nämlich die Klappe, die am Boden liegt, nicht an ihrem obern, sondern an dem stromaufwärts gekehrten Ende gefafst und angehoben wird, so tritt der Strom unter dieselbe, und erleichtert sogar ihr weiteres Anheben, bis die Drehungs-Achse vollständig gehoben und durch die Strebe unterstützt wird. Während dieser Zeit behält die Klappe eine nahe horizontale Lage, und ist daher keinem starken Stofs des Wassers ausgesetzt. Sobald indessen ihre Achse fest liegt, so läfst sich der obere Flügel leicht heben und der Druck des Wassers selbst bringt sie alsdann in die beabsichtigte lothrechte oder wenig geneigte Stellung.

Diese verschiedenen Verbesserungen wurden in Frankreich gemacht, und sind in den *Annales des ponts et chaussées* in mehreren Aufsätzen ausführlich behandelt. Es mag unter denselben nur auf die beiden von Chanoine und de Lagrene Bezug genommen *) und nach diesen ein an der obern Seine ausgeführtes Wehr beschrieben werden, mit welchem die andern daselbst befindlichen nahe übereinstimmen. Der Zweck derselben war aber, den höhern Wasserstand, den die Schiffe in den anschliefsenden Canälen finden, durch Aufstau auch im Flusse darzustellen.

Die ganze Anlage besteht aus drei verschiedenen Theilen. Neben dem Leinpfade ist eine Schiffsschleuse im Flufsbette erbaut, deren Mauern und Thore aber so tief liegen, dafs das Hochwasser darüber geht. Sie wird nur zur Zeit der niedrigsten Wasserstände benutzt. Ihre Kammer dient zur gleichzeitigen Aufnahme mehrerer Schiffe und hat daher sehr bedeutende Dimensionen.

Von den Unterhäuptern der Schleusen erstrecken sich normal

---

*) *Annales des ponts et chaussées* 1861. II. p. 209. und 1866. I. p. 172.

gegen die Richtung des Stroms die Schiffsdurchlässe (*passes navigables*), die bei diesen verschiednen Wehren 129 bis 175 Fufs lang sind. Sie werden bei höhern Wasserständen, wobei das Gefälle sehr geringe ist, zum Durchgang der Schiffe benutzt. Es befinden sich darin nach Maafsgabe ihrer Längen 31 bis 42 der vorerwähnten Klappen, deren jede nahe 4 Fufs breit ist. Zwischen ihnen bleibt jedesmal ein freier Spielraum von etwa 4 Zoll. Wird der Schiffsdurchlafs als Fahrwasser benutzt, so sind die Klappen niedergelegt, und sie liegen alsdann eben so wie die feste Schwelle, an welche sie beim Aufrichten sich anlehnen, nahe 2 Fufs unter dem Sommer-Wasserstande.

An die Schiffsdurchlässe schliefsen sich hinter massiven Pfeilern in gleicher Richtung die Ueberfall-Wehre (*déversoirs*) an, die sich bis zu den gegenüber liegenden Ufern fortsetzen. Dieselben sind 192 bis 224 Fufs lang, und werden durch 43 bis 50 Klappen geschlossen, die etwas über 4 Fufs breit sind. Diese sind indessen niedriger, als die ersten, da die Schwellen der Wehre 1,6 Fufs über dem Sommerwasser liegen. Dabei mufs bemerkt werden, dafs zur Zeit des als Norm angenommenen Sommerwassers in dem Flusse vor der Anlage der Wehre das Fahrwasser 2 Fufs tief war, woher die Schiffe den Durchlafs eben so bequem überfahren können, wie die sonstigen Untiefen. Die Ueberfallwehre werden aber niemals von Schiffen passirt, und die darüber aufgestellten Klappen sind selbstthätig, und öffnen sich ohne Hülfe der Schleusenwärter, wenn das Wasser plötzlich hoch anschwillt, sie können aber auch flach niedergelegt werden, um den Abfluſs des Wassers zur Zeit der höchsten Anschwellungen nicht zu behindern, und um dabei auch selbst durch herabtreibende Körper nicht beschädigt zu werden.

Fig. 201. auf Taf. XXIV. zeigt die im Schiffsdurchlafs eingerichteten Klappen, nämlich *a*, *b* und *c* wenn sie aufgerichtet und *d* und *e* wenn sie niedergeschlagen sind. *a* ist die Ansicht derselben von stromabwärts gesehn, *b* die Seiten-Ansicht, *c* die Ansicht von oben. Sie sind nahe 10 Fufs hoch, und da sie nicht selbstthätig sein sollen, so liegen ihre Drehungsachsen so hoch, dafs der Wasserdruck sie niemals umlegt. Das Verhältnifs der Längen des obern Flügels zu der des untern, und zwar bis zur Oberkante der Schwelle, ist daher wie 7 zu 5 angenommen. Die an der Klappe

befestigten Pfannen, worin die Drehungs-Achse sich bewegt, sind in *a*, *b* und *d* sichtbar.

Diese Achse wird jedesmal von einem Bock getragen, dessen Zusammensetzung aus gewalzten Eisenstäben sich aus Fig. *a* ergiebt, und der unten eine zweite Achse trägt, um welche er niedergeschlagen werden kann. An ihm befindet sich aber noch eine dritte Achse, möglichst nahe über der Drehungs-Achse der Klappe, und in diese greift die Stütze ein, welche den Bock in seiner aufrechten Stellung hält. Die Stütze ist also nicht an die Klappe, sondern an diesem Bock befestigt, jedoch nicht scharf schliefsend, sondern so lose, dafs sie etwas seitwärts geschoben werden kann.

Wenn die Klappe aufrecht steht, lehnt sich die Stütze gegen einen eisernen, keilförmig gestalteten Schuh, der am Boden befestigt ist. Neben den Fufspunkten aller Klappen befindet sich in den nöthigen Führungen eine eiserne mit Daumen versehene Stange, die mittelst eines Getriebes vor und zurück bewegt werden kann. Wird dieselbe so bewegt, dafs die Daumen die Stützen fassen und fortschieben, also in der Richtung des in Fig. *c* angedeuteten Pfeiles, so verlieren die Stützen ihren Anhalt und der Wasserdruck legt sie zugleich mit den Böcken und den Klappen flach auf den Boden. Sobald indessen der Fufs einer Stütze ausweicht, so stöfst er gegen den vortretenden Rand einer auf den Boden befestigten Eisenschiene, und wird von dieser wieder in die frühere, gegen seine Achse normale Richtung geführt. Erhebt sich später der Bock, so tritt der Fufs der Stütze zwischen die beiden vortretenden Ränder des keilförmigen Schuhes und findet beim Herabfallen von dieser sein sicheres Widerlager. Die Daumen an jener Stange sind aber so gestellt, dafs sie nicht alle gleichzeitig wirken, vielmehr eine Stütze nach der andern durch sie fortgeschoben wird. In den breiteren Durchlässen, wie auch in den Ueberfallwehren werden zwei solche Stangen benutzt, von denen jede die Hälfte der Stützen verschiebt.

Zum Wieder-Aufrichten der Klappen bedient man sich eines Bootes, in welchem eine Winde-Vorrichtung sich befindet, und an dessen vorderem Theile eine Rolle angebracht ist, über welche ein Tau nach der Winde läuft. Man lehnt und befestigt das Boot im Oberwasser gegen die vorhergehenden, bereits aufgestellten Klappen, und zwar so, dafs die vordere Spitze des Bootes vor die noch freie

Oeffnung etwas vortritt. Der am Ende des Taues angebrachte Haken wird mittelst einer Stange in einen Bügel an dem untern, also dem stromaufwärts gekehrten Rande der Klappe, eingehakt und darauf die Winde in Thätigkeit gesetzt. Sobald der Strom unter die Klappe tritt, läfst sich diese leicht anheben. Der Arbeiter im vordern Theil des Bootes mufs aber mit einem Haken oder durch unmittelbares Eingreifen mit der Hand ihr eine möglichst horizontale Lage geben, bis sie soweit gehoben ist, dafs die Stütze von der Knagge gefafst wird. Alsdann genügt eine geringe Kraft, um den vordern Theil herabzudrücken, worauf der Strom sie vollends aufrichtet, indem ihr unterer Rand sich gegen die Schwelle lehnt. In einer Stunde kann man 36 solche Klappen aufstellen, während zum Niederlegen derselben 4 Minuten genügen.

Nahe dieselbe Einrichtung haben die Klappen auf dem Ueberfallwehr, die auch in gleicher Weise niedergelegt und wieder aufgerichtet werden. Sie unterscheiden sich von den ersteren theils durch ihre geringere Höhe, die wenig über 6 Fufs mifst, was wegen der gröfsern Höhe der Schwelle genügt, indem jene, wie diese, gleichen Stau veranlassen sollen, theils aber auch dadurch, dafs sie sich von selbst öffnen, wenn das Wasser plötzlich anschwillt. Zu diesem Zweck liegt ihre Drehungs-Achse höher. Damit sie aber bei fallendem Wasser sich wieder von selbst schliefsen, so wird ihr unterer Flügel, wie Fig. 202. zeigt, durch eine Kette zurückgehalten, die es verhindert, dafs sie sich ganz horizontal stellen, weil in diesem Fall der Wasserdruck seine Wirkung verlieren würde. Die Kette ist aber an der vordern Seite bis zum obern Rande der Klappe heraufgezogen, und hier an einen Haken befestigt, um diejenige Neigung der Klappe zu geben, wobei sie möglichst weite Durchfluſs-Oeffnungen darstellt, aber dennoch bei fallendem Wasser sich wieder aufrichtet. Auch hier sind die Stützen nicht mit den Klappen verbunden, sondern fassen die eisernen Böcke, welche die Klappen tragen.

Die weiten Fugen zwischen den Klappen sind in der Regel unschädlich, da das zufliefsende Wasser, nachdem der Stau sich gebildet hat, doch abgeführt werden mufs. Wenn es aber zuweilen geschieht, dafs in der nächst vorhergehenden Flufsstrecke der erforderliche Wasserstand sich nicht einstellt, und sonach der Verlust gemäfsigt werden soll, so schiebt man von dem erwähnten Boote

aus Schaal-Dielen oder andre Brettstücken über die Fugen, die jedoch später, vor dem Niederlegen der Klappen, wieder ausgezogen werden müssen.

An der Marne, und zwar unterhalb der Einmündung des Rhein-Marne-Canals, zwischen Epernay und Meaux, wird durch zwölf Stauanlagen gleichfalls der Wasserspiegel so gehoben, dafs die für die Schiffahrt erforderliche Tiefe sich bildet. Die Anlagen sind im Allgemeinen der beschriebenen ähnlich, nur weichen sie in Betreff der Klappen theilweise davon ab.

Die Schleusen haben hier geringere Dimensionen, indem sie in den Kammern nur 163 Fufs lang, und 28 Fufs breit sind. Sie liegen wieder im Flufsbette und werden beim Hochwasser überströmt. Die Schiffsdurchlässe sind 80 Fufs breit, und werden durch 20 Klappen von derselben Einrichtung, wie an der obern Seine, geschlossen. Zum Heben derselben bedient man sich aber hier nicht des Bootes, vielmehr einer leichten, auf eisernen Böcken ruhenden Brücke, wie bei Nadelwehren, wovon im Folgenden die Rede sein wird. Vorläufig wäre darüber nur zu erwähnen, dafs nach Beseitigung des letzten Bohlenbelages dieser Brücke die Böcke sich flach auf den Grund legen, wie Fig. 196. auf Taf. XXIII. zeigt. Ohne Zweifel wird hierdurch die Anlage sehr vertheuert, man stellt dabei aber bei kleinem Wasser eine bequeme Brücke dar, und wenn die Klappen schadhaft werden sollten, so kann man den Verschlufs auch durch Nadeln bewirken.

Wesentlich verschieden von den eben beschriebenen sind aber bei acht unter diesen Stau-Anlagen die Klappen auf den Ueberfallwehren construirt. Diese Wehre liegen mit dem festen Rücken $3\frac{1}{2}$ Fufs über dem Sommerwasser, und die Klappen sind so eingerichtet, dafs sie durch den Wasserdruck aufgerichtet und niedergelegt werden können. Das Wehr ist 159 Fufs lang, darauf befinden sich 33 Klappen von nahe 5 Fufs Breite, die über den festen Rücken sich 3 Fufs erheben. Fig. 203. auf Taf. XXIV. zeigt eine solche Klappe im Durchschnitt. Sie dreht sich um eine Achse, die wenig unter dem Rücken liegt, und setzt sich abwärts in gleicher Länge fort. Dieser untere Theil, oder die Gegenklappe, die mit der obern fest verbunden ist, schliefst sich möglichst nahe an die gemauerte cylindrische Fläche an, so wie zu beiden Seiten an die Blechwände, wodurch die Klappen von einander getrennt

werden. Die Klappen, welche in der Figur durch die starken Linien bezeichnet sind, bestehn gleichfalls aus Eisenblech. Der freie Raum, dessen Querschnitt ungefähr den vierten Theil eines Cylinders bildet, erstreckt sich, von jenen Zwischenwänden unterbrochen, durch die ganze Länge des Wehrs, daneben befinden sich aber noch zwei andre Oeffnungen, die theils im Mauerwerk dargestellt und theils durch Eisenplatten umschlossen sind. Sie liegen über und zur Seite jenes cylindrischen Raums, und stehn in Verbindung mit jeder Zelle, worin eine Gegenklappe sich bewegt. Sie setzen sich bis zur Mitte der beiden Pfeiler, die das Wehr einschliefsen, fort. Man kann sie durch verschiedne Schiebeventile beliebig mit dem Ober- oder mit dem Unterwasser in Verbindung setzen und hierdurch auf der einen oder der andern Seite der Gegenklappe den Ueberdruck veranlassen, der die Klappe hebt oder niederlegt. Desfontaines, der diese Wehre erbaute, hat dabei noch verschiedne Einrichtungen getroffen, um das Spiel der Klappen zu erleichtern und zu sichern.*) Dahin gehört, dafs er an jede Klappe eine Stütze anbrachte, auch wieder die mit Daumen versehene Stange anwandte, welche verhinderte, dafs nicht etwa bei mäfsigen Anschwellungen sogleich alle Klappen sich niederlegten, wodurch das Oberwasser zu stark gesenkt wäre. Es scheint indessen entbehrlich, hierauf näher einzugehn, da manche Bedenken gegen diese Anordnung sehr nahe liegen, und aufser den leicht möglichen und schwer zu beseitigenden Beschädigungen die Ablagerung von Sand in den Zellen besonders zu besorgen ist. Dazu kommt aber noch, dafs selbst nach den auf der Marne gemachten Erfahrungen, der unvermeidliche und starke Wasserverlust den dargestellten Ueberdruck so sehr mäfsigt, dafs die in der Mitte liegenden Klappen hierdurch oft nicht mehr in Bewegung gesetzt werden können.

Schon früher hatte man in Amerika den Wasserdruck benutzt, um Stau-Vorrichtungen in Wirksamkeit zu setzen und wieder zu beseitigen. Bei der Schiffbarmachung oder vielmehr der Kanalisirung des Lehigh-Flusses in Pensylvanien, der bei Easton in den Delaware mündet, geschah dieses durch Josiah White im Jahr 1818. Fig. 193. *a*, *b* und *c* auf Taf. XXII. zeigt ein hier ausgeführtes hydrostatisches Wehr, das freilich eigentlich nur das Unter-

*) *Annales des ponts et chaussées* 1866. *I. p.* 188.

haupt einer Schiffsschleuse bildet, das aber dennoch auch Wehr genannt werden darf, insofern es Gelegenheit bietet, die Schleuse vollständig zu öffnen und zur Abführung des Hochwassers zu benutzen. *a* ist ein Theil des Grundrisses, so wie *b* und *c* zwei Längen-Durchschnitte bei niedergelegten und aufgerichteten Klappen darstellen.

Der Stau wird dabei durch eine Klappe bewirkt, die sich um eine horizontale Achse dreht, und sich flach auf den Boden niederlegt. Dieselbe stützt sich, sobald sie aufgerichtet ist, gegen eine zweite ähnliche Klappe, deren Drehungs-Achse an der stromabwärts gekehrten Seite sich befindet. Beide Klappen schliefsen beständig möglichst dicht gegen einander, so wie auch gegen den Boden und beide Seitenmauern. Man kann daher den Druck des darunter befindlichen Wassers verstärken oder schwächen, je nachdem man diesen Raum mit dem Ober- oder Unterwasser in Verbindung setzt. Die niedergelegten Klappen erheben sich, sobald das eingeschlofsne Wasser den Druck des Oberwassers erhält, und sinken, sobald der Raum unter ihnen mit dem Unterwasser in Verbindung gesetzt wird. Die beiden Schütze in dem Seitenkanale dienen zur Darstellung und Aufhebung der erwähnten Verbindungen. Damit aber die Klappen sich nicht zu weit öffnen, sind vorstehende Leisten an beiden Seitenmauern angebracht, und überdies befindet sich an der untern Seite der ersten Klappe eine dritte Leiste, die in der Figur angedeutet ist. Die Klappen dürfen sich nie so weit heben, dafs sie einen rechten Winkel einschliefsen, weil sie alsdann nicht mehr niederschlagen würden. Der Stau, der durch diese Vorrichtung erzeugt wird, beträgt in einem Falle 29 Fufs, in den andern sieben Schleusen ist er geringer. Ein Wehr dieser Art soll auch im Königreich Würtemberg in der Enz bei Besigheim mit Erfolg zur Ausführung gebracht sein. *)

Die Klappen lassen sich auch durch angehängte Gewichte in der aufrechten Stellung erhalten. Bei höhern Wasserständen geben die Gewichte nach, die Klappen legen sich nieder und erheben sich von selbst, sobald das Hochwasser verlaufen ist. Diese Einrichtung ist bei Schiffbarmachung der Ouse oberhalb York im Jahr 1834 zur Ausführung gekommen. **) Die Ouse war früher nur bis

---

*) Förster's allgemeine Bauzeitung. 1841. p. 334.

**) *Civil-Engineer and Architects Journal.* 1840. III. S. 284.

Selby schiffbar, weiter aufwärts bis York betrug die Tiefe auf den Kiesbänken zur Zeit der niedrigsten Fluthen nur 5 Fufs. Man mufste daher für diese Fahrten immer die Zeit der Springfluthen benutzen, und gröfsere Schiffe konnten überhaupt nicht heraufgehn. Nachdem einzelne Kiesbänke durch Baggern beseitigt waren, erreichte man zur Zeit des Hochwassers eine Tiefe von 11 bis 12 Fufs. Nunmehr kam es darauf an, die Schiffahrt noch 20 Engl. Meilen weiter aufwärts bis Boroughbridge auszudehnen. Es bestanden daselbst bereits einige Schleusen nebst Wehren, aber die Wassertiefe in den zwischenliegenden Stromstrecken war ungenügend, und man durfte mit Rücksicht auf die niedrigen Ufer keine Erhöhung der Wehre vornehmen. Nichts desto weniger war zur Zeit des Sommers eine Hebung des Wasserspiegels um 18 Zoll noch zulässig. Hierzu dienten die erwähnten Klappen auf den Wehren.

Zwei dergleichen Klappen, jede 74 Fufs lang, 18 Zoll hoch und 4 Zoll stark, bestehend aus Kiefernholz, bilden die bewegliche Erhöhung des Wehrs, dessen ganze Länge 148 Fufs beträgt. Sie stehn auf dem massiven Wehrrücken auf und werden von 10 zu 10 Fufs durch starke eiserne Charniere gehalten, welche sich auch auf den Wehrrücken niederlegen. Der bewegliche Arm jedes Cherniers endigt in einen Zapfen von 1 Zoll Stärke, der über die Klappe vorragt. Mit diesen Zapfen sind flache Ketten verbunden, die sich auf eben so viele Schneckenräder aufrollen. Die letztern befinden sich an einer starken eisernen Achse, welche das ganze Wehr überspannt, und von Stützen auf der Vorderkante des Wehrs getragen wird. Diese Achse ist neben jeder Seitenmauer mit einem gezahnten Rade versehn, das in ein Getriebe greift, und letzteres ist mit einer Rolle verbunden, woran das Gegengewicht hängt. Wenn diese Gewichte auf dem Boden stehn, so befinden sich die Klappen in lothrechter Stellung. Dieses geschieht so lange, als das Wasser die Höhe von 6 Zoll über den Klappen, oder von 2 Fufs über dem Wehrrücken nicht übersteigt. Schwillt das Wasser höher an, so gewinnt der Druck desselben auf die Klappen das Uebergewicht, und diese legen sich flach nieder, so dafs ihr Einfluſs auf das Hochwasser verschwindet. Sobald die Fluthen aber vorüber sind, kommen die Gewichte wieder zur Wirksamkeit, und die Klappen stellen sich von selbst auf. Diese Anordnung wurde vom Ingenieur Rhodes vorge-

schlagen und ausgeführt, und sie soll günstige Resultate gegeben haben.

Ferner kann der Stau bei niedrigem Wasserstande auch durch Thore hervorgebracht werden, die sich um vertikale Achsen drehn. Damit dieselben sich indessen beliebig öffnen und schliessen lassen, und nicht durch den Wasserdruck in ihrer Stellung zu fest gehalten werden, mufs man ihnen zwei Flügel geben, also die Achse in die Mitte, oder wenigstens ziemlich nahe derselben anbringen. Indem man durch Oeffnen von Schützen den Druck auf einen oder den andern Flügel vermindert, so öffnen sich die Thore, auch tritt hierbei noch der Vortheil ein, dafs das obere Ende der Drehungsachse über Wasser liegt, und sonach Gelegenheit giebt, durch mechanische Vorrichtungen die Bewegungen zu unterstützen und sicher zu leiten. Ein grofser Uebelstand dieser Anordnung liegt aber darin, dafs die Thore, wenn sie auch geöffnet sind, mitten im Strom stehn, und daher den Beschädigungen beim Eisgange ausgesetzt bleiben. Aufserdem kann nur derjenige Flügel, der sich stromaufwärts öffnet, gegen eine Schwelle oder einen Falz in dem Boden gelehnt werden, während der stromabwärts aufschlagende, durch den Wasserdruck von diesen Schwellen und Falzen entfernt, nicht aber dagegen gedrückt wird. Solche Thore müssen daher in sich eine feste Verbindung haben, und dieses ist wieder nur möglich, wenn ihre Breite nicht bedeutend ist. Hierin liegt ein zweiter Grund, der ihrer Anwendung als Stau-Vorrichtung in Flüssen hinderlich ist. Nichts desto weniger sind sie zu diesem Zweck doch vorgeschlagen und zuweilen auch zur Ausführung gebracht.

Die Gesellschaft, welche den nordöstlichen Theil von London mit Wasser versieht (*East London Water Works Company*) mufste bei dem immer zunehmenden Bedürfnifs im Jahr 1833 für die Verstärkung des Wasserquantums sorgen. Zur Zeit der Fluth schwillt der Lea-Flufs merklich an, während zur Zeit der Ebbe sein starker Abflufs zum Betriebe verschiedner Mühler dient. Der Abflufs war aber bedeutender, als dafs er ganz von den Mühlen benutzt werden konnte. Es durfte daher ein Theil des Fluthwassers in einem Seiten-Bassin zur Speisung der Wasserleitung aufgefangen werden, doch mufste man zugleich die erforderlichen Vorkehrungen treffen, um etwanigen Beschwerden der Müller zu begegnen. Die Anlage der Seiten-Bassins wurde daher nur unter der Bedingung

genehmigt, dafs auf Erfordern der Müller durch Zurückleitung des Wassers sogleich jedem Mangel vorgebeugt würde. In solchem Falle werden daher die Thore wieder geöffnet, und da die Niveau-Differenz nur wenige Zolle beträgt, so mufs eine recht grofse Oeffnung dargestellt werden, um das erforderliche Wasserquantum schnell genug wieder abzugeben. Hierzu wurden von Wicksteed die in Rede stehenden Drehthore benutzt. *)

Jede der drei Oeffnungen ist 92 Fufs weit und wird durch zwei Drehthore geschlossen, deren Achsen sich in ihrer Mitte befinden. Der Druck des Wassers gegen beide Flügel ist also gleich grofs, und das Oeffnen und Schliefsen erfolgt durch ein Getriebe, das in einem gezahnten Quadranten über der Achse eingreift. In dieser Beziehung unterscheiden sich die Thore schon von den gewöhnlichen Drehthoren, die in den Spülschleusen bei Seehäfen vorkommen. Eine andre Eigenthümlichkeit besteht aber noch darin, dafs diejenigen Flügel, welche beim Oeffnen der Thore in das Bassin, also ins Oberwasser treten, wenn sie geschlossen sind, sich gegen einander stemmen, wie Schleusenthore, und sich zugleich an Schlagschwellen lehnen. Die andern Flügel werden aber, so lange die Thore geschlossen bleiben, jeder durch drei eiserne Daumen in eine Nuthe der Mauer gepreſst. Hierdurch wird dem Durchbiegen der Thore vorgebeugt, welches sonst bei der grofsen Länge derselben eintreten und einen starken Wasserverlust verursachen würde. Endlich sind die Thore auch gröſser, als andre Drehthore, und dieses war hier zulässig, da sie nur einem geringen Wasserdruck ausgesetzt bleiben. Die Laufbrücke, welche zugleich die obern Achsen der Thore umfafst und dieselben lothrecht über den untern erhält, besteht aus zwei Balken, zwischen welche theils hölzerne Strebe-Bänder, theils gufseiserne Rahmen eingeschoben sind.

Prony hat die Anwendung ähnlicher Thore zum Aufstauen des niedrigen Wassers vorgeschlagen, und einen Entwurf dieser Art für die Seine bei Poissy bearbeiten lassen und bekannt gemacht. **) Wenngleich dieses Project nicht zur Ausführung gekommen ist, es sogar nur als erste Idee ohne bestimmte Angabe der Einzelheiten mitgetheilt wird, so darf es doch schon wegen des um die Wasser-

---

*) *Civil Engineer and Architect's Journal.* 1840. Vol. III. p. 42.

**) *Annales des ponts et chaussées.* 1835. II. S. 325.

baukunst so verdienten Verfassers nicht mit Stillschweigen übergangen werden. Es hat in einer Beziehung vor allen übrigen beweglichen Wehren den Vorzug, dafs das fortwährend zufliefsende Wasser, welches auch zur Zeit des Staues abgeführt werden mufs, nicht über die Wand stürzt, sondern darunter abfliefst und sonach jede Ablagerung, welche die Bewegung des Apparats erschweren könnte, verhindert.

Aus dem Grundrifs Fig. 204. auf Taf. XXIV. ergiebt sich die ganze Anordnung. Die Schiffahrt erfordert Durchlafs - Oeffnungen von 32 bis 38 Fufs Weite, damit die daneben befindliche Schleuse zur Zeit der höhern Wasserstände nicht benutzt werden darf. Die übrigen Oeffnungen konnten bedeutend schmaler sein. Hiernach sind sieben Oeffnungen zu 29 Fufs und sechs dazwischen liegende zu 38 Fufs angenommen. Die Pfeiler, welche die Thore halten, und zugleich dieselben, während sie geöffnet sind, vor Beschädigungen sichern, sind nichts andres, als gewöhnliche Eisbrecher. Jedes Thor besteht wieder aus zwei mit einander verbundnen Flügeln. Der längere Flügel ist stromaufwärts gekehrt, und dient zur Verschliefsung einer Hälfte der weitern Oeffnung, seine Länge beträgt nahe 24 Fufs, der kürzere Flügel gehört dagegen zu einer schmalen Oeffnung, ist stromabwärts gekehrt, und nur etwas über 19 Fufs lang. Diese Flügel, die entweder ganz aus Holz oder mit Anwendung starker gufseiserner Riegel und Rahme erbaut werden sollen, reichen nicht bis zum massiven Grundbett herab, sondern lassen dazwischen einen Raum frei, der bei der beabsichtigten Niveau-Differenz zwischen Ober- und Unterwasser während der niedrigsten Wasserstände zur Abführung der ganzen Wassermenge hinreicht. Wird letztere gröfser, so öffnet man, soweit es nöthig ist, einige Schütze in den längern Flügeln, wodurch die Thore sich von selbst drehn. Wenn die Thore geöffnet sind, stehn sie ihrer ganzen Länge nach in der Mitte der Eisbrecher, also möglichst gesichert. Diese Stellung ist auf der rechten Seite der Figur angegeben. Sind die Thore aber geschlossen, so stemmen sie nicht nur mit den längern Flügeln gegen einander, sondern es lehnt sich auch jedes Thor an drei Pfähle. Zwei von diesen gehören zum Eisbrecher, der dritte steht jedesmal in der Mitte der gröfsern Oeffnung und ist so tief abgeschnitten, dafs nur eben die Schwellrahmen der längern Flügel dagegen stofsen. Auf diese Weise ist es leicht, je-

des einzelne Thor in die passende Richtung zu bringen, und es darin zu erhalten. Statt der gewöhnlichen Schütze ist noch die Anwendung von Drehthoren empfohlen, es sollen nämlich am Ende iedes längern Flügels sechs derselben von 1 Fuſs 9 Zoll Breite angebracht werden, deren jedes seine Drehungsachse in der Mitte hat, und die ebenso, wie die groſsen Thore, an dem einen Ende stromaufwärts, an dem andern stromabwärts mit dem nächsten ähnlichen Drehthor zusammenschlagen. Diese kleinern Thore sollen von einer Laufbrücke aus, die auf den groſsen Thoren angebracht ist, bewegt werden. Hat man sie geöffnet, so reducirt sich die Länge des längern Flügels, soweit der Wasserdruck darauf wirkt, auf etwa 16 Fuſs. Der kürzere Flügel ist also in diesem Fall einem stärkern Druck ausgesetzt, und das Thor öffnet sich von selbst. Es wird auſserdem noch der Vorschlag gemacht, durch eine Winde-Vorrichtung vom Ufer aus die Bewegung zu unterstützen.

§. 48.

Nadelwehre.

Unter den verschiedenen beweglichen Wehren hat keins seinen Zweck so vollständig erfüllt, und zugleich in der Handhabung sich so bequem erwiesen, als das Nadelwehr. Dasselbe hat in neurer Zeit vielfach in Frankreich, Belgien und Deutschland Anwendung gefunden, woher eine ausführliche Beschreibung seiner ganzen Zusammensetzung und aller Einzelheiten sich rechtfertigen wird.

Im Wesentlichen besteht es darin, daſs ähnlich der Stauvorrichtung an der Mayenne, Sarthe und des Loir, wovon bereits die Rede war, die Fundirung mit einer erhöhten Schwelle versehn ist, und darüber, und zwar über Wasser, ein horizontaler Rahm, meist aus vielen einzelnen Stücken zusammengesetzt, liegt, der zur Zeit des Hochwassers oder wenn Schiffe durchgehn, beseitigt werden kann. Gegen die Schwelle und den Rahm lehnt man, so oft der Stau eintreten soll, hölzerne Stäbe, die sogenannten Nadeln, die nichts andres sind als Schütze von sehr geringer Breite. Indem nicht nur der Rahm, sondern auch die Böcke, auf denen er ruht, zur Zeit des Hochwassers beseitigt oder niedergelegt werden kön-

nen, so wird das ganze Flufsbett, wie breit es auch sein mag, vollständig frei. Wenn aber die sämmtlichen Böcke, oder ein Theil derselben nebst den zugehörigen Rahmen aufgestellt sind, so kann man durch Einsetzen der Nadeln den Stau so weit erhöhen, wie es erforderlich ist. Man braucht auch nicht die starke Durchströmung auf eine Stelle zu concentriren, vielmehr hindert nichts die nöthigen Oeffnungen zum Durchlassen des Wassers gleichmäfsig über die ganze Länge des Wehrs zu vertheilen, indem man in gleichen Abständen einzelne Nadeln aushebt.

Schon früher hatte man in Frankreich leichte Nadeln, das heifst hölzerne Stäbe von quadratischem Querschnitt und 2 bis 3 Zoll stark in dieser Weise benutzt, jedoch nur zur Schliefsung kleinerer Oeffnungen, welche durch einen Balken überspannt werden konnten. Fig. 204. *A* zeigt in der Ansicht und im Durchschnitt diese ältere Einrichtung. Die Sohle des Flufsbettes ist befestigt und gemeinhin mit einem hölzernen Boden, wie eine Freiarche, versehn. Die Grundbalken darin liegen indessen ziemlich entfernt von einander, und ihre Unterstützung durch Grundpfähle ist gemeinhin nur leicht, oder fehlt oft ganz. Man pflegt diese Mängel theils durch Anbringung eines Pflasters aus schweren Steinen unter dem hölzernen Boden, theils aber auch dadurch zu ersetzen, dafs die Grundbalken bis unter die Pfeiler reichen, und auf diese Art einen liegenden Rost bilden. Eine starke Schwelle tritt über den Vorboden vor, und neben und unter derselben befindet sich eine leichte Spundwand. In die massiven Pfeiler zu beiden Seiten sind zwei Pfähle eingemauert, einer derselben trägt den beweglichen Rahm oder Griesholm, und ein Bolzen bildet dessen Drehungsachse. Der Pfahl auf dem gegenüberstehenden Ufer ragt gleichfalls über die Oberfläche des Pfeilers vor, und der bewegliche Rahm wird daran durch eine Klinke oder einen Haken gehalten. Der Drehbalken verlängert sich aber rückwärts und trägt am Ende einen mit Steinen gefüllten Kasten, der das Gleichgewicht darstellt. Auf ihm befindet sich auch eine leichte Brücke, die auf der stromabwärts gekehrten Seite mit einem Geländer versehn ist, von welcher aus die Nadeln eingestellt und ausgehoben werden.

Die Nadeln aus gerade gewachsnem Holz geschnitten, sind bis 10 Fufs lang, $2\frac{1}{4}$ Zoll breit und 2 Zoll stark. Sie werden, wie die Figur zeigt, in der Art eingesetzt, dafs man sie schräge gegen den

Strom in das Wasser taucht, worauf sie sich an die Schwelle lehnen. Wenn aber die zuletzt eingesetzte Nadel von der vorhergehenden zu weit absteht, so dreht man sie etwas, so dafs die Strömung zwischen beiden aufhört, alsdann wird sie durch den Wasserdruck von der andern Seite herangeschoben. Auf vollständige Wasserdichtigkeit kommt es indessen hierbei nicht an. Am obern Ende sind die Nadeln cylindrisch abgerundet, damit man sie bequem fassen kann, auch sind sie hier mit Löchern oder Oesen versehn, durch welche man nach ihrem Einstellen eine Leine hindurchzieht, damit sie beim plötzlichen Oeffnen des Drehbaums nicht vom Strom fortgetrieben werden.

Will man die Stau-Vorrichtung entfernen, so braucht man nur das Ende des Drehbalkens zu lösen. Man schlägt zu diesem Zweck die Klinke oder den Haken zurück, alsdann drehn die dem Wasserdruck ausgesetzten Nadeln den Balken bis zum gegenüber liegenden Ufer und schwimmen soweit abwärts, als die Leine dieses gestattet. Auf diese Art läfst sich das Wehr bei eintretender Anschwellung in sehr kurzer Zeit und fast momentan beseitigen. Die Aufstellung desselben erfordert allerdings mehr Mühe, doch kann ein geübter Arbeiter, wenn ein Gehülfe ihm die Nadeln zuträgt, in eben so vielen Minuten damit fertig werden, als die Länge der Stauwand Fufse mifst. Die Oeffnungen, welche auf diese Art geschlossen werden, sind bis 38 Fufs weit.

Emmery hat manche Verbesserungen hierbei eingeführt, die sich zum Theil auf eine solidere Construction und eine bequemere Einstellung, hauptsächlich aber darauf beziehn, dafs der Drehbalken etwas unter der Oberfläche der Pfeiler liegt, so dafs einerseits die Nadeln weniger lang, andrerseits aber auch die Pfeiler höher werden können. Diese Aenderung besteht darin, dafs der Drehbalken an eine vertikalen Wendesäule zur Seite des Pfeilers befestigt ist, und durch zwei eiserne Zugbänder in seiner horizontalen Lage gehalten wird. Die Wändesäule ist aber sowohl oben als unten mit Zapfen versehn, die sich in eisernen Pfannen drehn.*) Ein Wehr dieser Art ist zwei Stunden oberhalb Paris in der starken Serpentine der Marne angebracht, welche durch den Kanal von St. Maur abgeschnitten wird.

---

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1838. I. Seite 203.

Wenn es darauf ankommt, einen recht wasserdichten Schluſs darzustellen, was gemeinhin nicht nothwendig ist, so kann man dieses unter Beibehaltung des Drehbalkens oder beweglichen Griesholms noch dadurch erreichen, daſs man zwei Reihen Nadeln einstellt, und zwar so, daſs die Fugen der einen Reihe durch die Nadeln der andern Reihe gedeckt werden.

Die Verbesserung der Nadelwehre, wodurch die Ausdehnung derselben nicht mehr auf die Länge eines Balkens beschränkt bleibt, sondern eine Durchbauung der breitesten Flüsse ohne Aufstellung von Mittelpfeilern gestattet, ist von Poirée ausgegangen. Der hölzerne Griesholm verwandelt sich dabei in kurze Eisenstäbe, die auf eisernen Böcken ruhn, und diese sind so eingerichtet, daſs sie zur Zeit der Anschwellung des Flusses sich leicht auf das Grundbett niederlegen und später wieder aufrichten lassen. Das erste Wehr dieser Art scheint dasjenige zu sein, welches Chanoine beschrieben hat.*) Es befindet sich in der Yonne unterhalb der Mündung des Bourgogne-Kanales neben dem Städtchen Epineau. Bald darauf (1840) wurde ein ähnliches Wehr in der Seine ohnfern Paris bei Poissy erbaut.

Das Wehr bei Epineau ist in seinem beweglichen Theile 223 Fuſs lang. Der gemauerte Boden ist, wie Fig. 197. auf Taf. XXIII. zeigt, nahe 32 Fuſs breit, und liegt in den vortretenden Schwellen 15 Zoll unter dem gewöhnlichen Sommerwasser. Diese Tiefe stimmt mit der des natürlichen Fluſsbetts ungefähr überein. Das Mauerwerk des Bodens ist durchschnittlich nahe 4 Fuſs stark. Durch den Boden zieht sich eine vertiefte Rinne von 7 Fuſs 3 Zoll Breite hindurch. In diese ist der hölzerne Rahmen eingelegt und verkeilt, welcher die beweglichen eisernen Böcke trägt.

Die Zusammensetzung des Rahmens und die Art seiner Befestigung ist aus den Figuren 196. *a*, *b* und *c* zu ersehn, welche das ganze Wehr im Querschnitt (*a*), in der Ansicht vom Oberwasser aus und im Längendurchschnitt (*b*), so wie auch in der Ansicht von oben (*c*) darstellen. Die Ränder der erwähnten Rinne sind nicht senkrecht ausgeschnitten, sondern treten an beiden Seiten schwalbenschwanzförmig zurück. An die stromabwärts gekehrte Seite lehnt sich eine besondre Schwelle von entsprechender Form. Strom-

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1839. I. p. 238.

aufwärts thut dieses der hölzerne Rahmen, der in Abständen von 3 Fuſs 2 Zoll von Mitte zu Mitte durch eingezapfte Riegel verbunden ist. In den Zwischenraum zwischen der Schwelle und dem Rahmen sind hölzerne Doppelkeile in Entfernungen von 6 Fuſs 6 Zoll eingetrieben, wodurch die Verschwellung in der Rinne festgehalten wird.

Diese Befestigungsart ist so einfach, daſs man keineswegs die ganze Baustelle trocken legen darf, um den Rahmen herauszunehmen, oder wieder einzusetzen. Nach der Mittheilung von Chanoine läſst sich dieses ohne Schwierigkeit ausführen, wenn auch ein Wasserstand von 3 Fuſs darüber stattfindet. Die Schwelle stöſst aber nur stumpf gegen das Langholz des Rahmens, während man bei andern Anlagen dieser Art die Schwelle ganz fortgelassen hat. Indem der stromabwärts gekehrte Falz der Rinne in dem massiven Boden senkrecht ausgearbeitet ist, so kann der Rahmen unmittelbar gegen die Werkstücke festgekeilt werden.

An den beiden innern Seiten der Langhölzer des Rahmens, und zwar jedesmal über der Mittellinie eines Riegels, befinden sich die eisernen Pfannen, worin die Achsen der Böcke liegen. Diese Pfannen sind aber so eingerichtet, daſs man die Böcke unter Wasser ausheben und wieder einstellen kann. Fig. 198. *a* zeigt die Ansicht derjenigen Pfanne, welche stromaufwärts liegt. Sie ist nur mit einem runden Loch versehn, in welches die Achse eingreift, die gegenüberstehende Pfanne Fig. 198. *b* hat dagegen einen nach oben erweiterten Schlitz, durch welchen die Achse herabgleitet, der aber, nachdem dieses geschehn ist, durch einen hölzernen Pflock geschlossen wird. Die eisernen Böcke stehn indessen nicht nur auf den erwähnten Pfannen, sondern da ihre Achsen die darunter befindlichen Riegel berühren, so tragen die letztern gleichfalls einen Theil der Last.

Die Böcke in der Höhe von nahe 7 Fuſs sind aus Schmiedeeisen zusammengesetzt, und verzapft und verniethet. Nur das obere Ende der Strebe wird durch eine Schraube gehalten, die oben in einen Ring ausläuft. Die Eisenstäbe sind 1 Zoll 6 Linien stark und eben so breit. Das Gewicht des einzelnen Bocks ist so groſs, daſs zwei Arbeiter von der Laufbrücke aus ohne besondre Anstrengung ihn mittelst einer Kette aufrichten können. Diese Kette ist an die Oese der erwähnten Schraube befestigt. Die Kette ist aber

hierbei keineswegs unentbehrlich, vielmehr fassen geübte Wärter auch eben so leicht mit einem Haken den obern Rahm des Bockes und richten letztern dadurch auf. Man pflegt daher während des Winters die Ketten ganz auszulösen, weil sie häufig von treibenden Gegenständen gefafst werden, und alsdann nicht nur selbst Beschädigungen ausgesetzt sind, sondern auch Veranlassung geben, dafs solche Gegenstände am Wehr aufgehalten werden und Kiesablagerungen verursachen.

Beim Aufstellen des Wehrs wird jeder einzelne Bock durch den Wärter und dessen Gehülfen aufgerichtet. Sobald er aber beinahe senkrecht steht, und eine mäfsige Kraft genügt, um ihn zu halten, greift der Wärter mit dem vordern Einschnitt des Hakens Fig. 199. *a* den obern Rahm des noch nicht befestigten Bockes, worauf er den zweiten Einschnitt desselben Hakens auf den bereits festgestellten, nächst vorhergehenden Bock legt. Alsdann wird die Verlängerung der Laufbrücke vorgenommen, indem drei kurze Bretter von 4 Fufs Länge neben einander so weit vorgelegt werden, dafs sie theils die frühere Ueberbrückung, und theils den neu aufgerichteten Bock reichlich überdecken. In jede Tafel, welche die Verlängerung der Laufbrücke bildet, sind im Abstande von 3 Fufs 2 Zoll Löcher eingebohrt, durch welche die aus den Böcken vortretenden Zapfen greifen. Hierdurch wird nicht nur die Lage der Tafeln gesichert, sondern der Wärter gewinnt auch in dem vortretenden Bolzen einen festen Stützpunkt, gegen welchen er beim Anheben des nächsten Bockes den Fufs stemmen kann.

Sobald die Verlegung der Brücke geschehn ist, werden noch zwei Richteisen, 1 Zoll hoch und nahe 2 Zoll breit und mit zwei Einschnitten versehn (Figur 199. *b*), auf diese beiden Böcke aufgelegt, worauf jener Haken fortgenommen wird, der nur vorläufig den letzten Bock halten sollte. Das eine dieser Eisen liegt vor dem erwähnten Schraubenkopfe und bildet den Griesholm, wogegen später die Nadeln gelehnt werden, das andre, welches schwächer sein kann und zuweilen ganz fortgelassen wird, liegt hinter der Brücke.

Auf diese Weise können zwei Mann die Aufstellung der Rüstung bewirken, doch wird gewöhnlich noch ein dritter Arbeiter dabei benutzt, der die Tafeln und Richteisen zuträgt. Das Niederlegen erfolgt im umgekehrter Reihenfolge. Es mufs indessen noch darauf

aufmerksam gemacht werden, dafs es keineswegs nothwendig ist, alle Böcke aufzustellen, oder alle niederzulegen, da jeder derselben, sobald er auf einer Seite die vollständige Verbindung erhalten hat, schon sicher steht. Man kann also bei mäfsigen Anschwellungen das Wehr in beliebiger Weite beseitigen, doch mufs dieses immer an der Seite geschehn, wo die Böcke zuletzt aufgestellt sind. Dabei ist noch zu bemerken, dafs auch der letzte Bock vollständig niedergelegt werden kann, indem zu diesem Zweck eine hinreichend tiefe Nische sich in dem massiven Pfeiler befindet.

An beiden Enden des Rahmstücks von jedem Bock sind noch aufwärts gekehrte Eisen angebracht, die aber der Deutlichkeit wegen in der Zeichnung grofsentheils nicht angegeben sind. Das an der stromaufwärts gekehrten Seite ist nur wenige Zoll hoch, und dient theils dazu, das Herabfallen des Richteisens zu verhindern, theils aber auch um die letzte Nadel zu halten, falls der folgende Bock niedergelegt wäre und sonach hier das Ende der aufgestellten Stauwand sich befände. Das Eisen an der andern Seite ragt etwa 1 Fufs über die Laufbrücke vor, und hat gleichfalls den Zweck, das zweite Richteisen zu halten, aufserdem aber dient es auch als Lehne für die beigetragenen oder ausgehobenen Nadeln, die zunächst auf der Brücke niedergelegt werden.

Die Nadeln, aus geradfasrigem Holz geschnitten, sind 7 Fufs 9 Zoll lang, 2 Zoll 8 Linien breit und 1 Zoll 6 Linien stark. Sie lehnen sich oben gegen das erwähnte Richteisen, das einen Bock mit dem andern verbindet, und unten gegen das vordere Langholz des Rahmens, das zu diesem Zweck mit einer eisernen Schiene beschlagen ist. Vor der Achse jedes Bocks befindet sich in diesen Schienen ein kleiner Vorsprung, der das untere Ende der Nadeln in gleicher Weise zurückhält, wie dieses an ihrem obern Ende geschieht. Der Wärter kann hiernach bei jedem Bock den lothrechten Stand der Nadeln beurtheilen.

Ueber das Einstellen der Nadeln wäre nur zu erinnern, dafs hierzu einige Uebung erforderlich ist. Jede derselben wird mit ihrem obern Theil an das erwähnte vordere Richteisen gelehnt, alsdann fafst sie der Strom und drückt ihr unteres Ende an die Schwelle. Trifft der Fufs der Nadel schon vor der Schwelle den Boden, so wird sie vom Strom gegen die Schwelle gestofsen, wenn dagegen die Nadel so hoch gefafst war, dafs sie die Schwelle nicht berührt,

so reifst der Strom sie darüber fort, und wenn der Wärter sie nicht sicher gefafst hat, so wird sie weggetrieben. Noch schwieriger ist es, die Nadeln so einzustellen, dafs sie in ihrer ganzen Länge sich nahe berühren, doch auch in dieser Beziehung gewinnen tüchtige Wärter bald die nöthige Fertigkeit.

Der laufende Fufs dieses Wehrs kostete mit der Fundirung, den Landpfeilern und allem Zubehör 175 Thaler. Nach den ersten Versuchen brauchte man zum Abnehmen des Wehrs, und zwar sowohl zum Ausheben der Nadeln, als zum Niederlegen der Böcke, für jeden Fufs Länge 32 Sekunden und zum Aufstellen 57 Sekunden. Doch zeigte sich bald, dafs die Arbeit bei gröfserer Uebung der Wärter schneller von Statten ging.

Sehr wichtig ist ohne Zweifel die Frage, wie dieses Wehr sich beim Hochwasser verhält, und ob nicht vielleicht grofse Sandmassen sich darüber legen, die das spätere Aufrichten erschweren, oder dabei die Anwendung andrer Mittel nothwendig machen. Diese Besorgnifs war aber nicht begründet. Chanoine sagt, dafs allerdings zuweilen Ablagerungen die Rinne im Grundbett ausfüllen, dafs aber dennoch das Aufstellen der Böcke ganz sicher ausgeführt werden kann, wenn man abwechselnd den mit Sand oder Kies bedeckten Bock etwas anhebt und wieder zurückfallen läfst. Die Ablagerungen, die hierauf in der Rinne noch zurückbleiben, lassen sich nach derselben Mittheilung leicht beseitigen, wenn man einen starken Strom darüber leitet, und hierzu bietet das Wehr selbst Gelegenheit. Man braucht nämlich nur an der Stelle, wo die starke Strömung stattfinden soll, die Nadeln fortzunehmen, während der übrige Theil der Wand geschlossen ist. Sollte aber ein Bock so tief versandet sein, dafs man ihn durch die Kette nicht heben kann, so braucht man nur bis zu dem bereits aufgestellten Bock die Nadeln einzusetzen, alsdann bildet sich davor, wie vor dem steilen Kopf einer Buhne eine heftige, mit Wirbel-Bewegungen verbundne Strömung, wodurch Sand und Kies leicht fortgetrieben werden.

Auf der Saone, zwischen dem Rhein-Rhone-Canal und Lyon, hat man bei dieser Stau-Vorrichtung die Aenderung eingeführt, dafs die Laufbrücke sich nicht aus hölzernen Tafeln zusammensetzt, die jedesmal besonders über die Böcke gelegt werden, sondern dafs sie aus Blechtafeln besteht, welche sich um die obern Rahmstücke der Böcke drehn und mit letzteren zugleich niedergelegt werden. Sie

bedecken alsdann die Böcke und sollen das Ablagern des Sandes auf demselben verhindern. Beim Aufrichten der Böcke faſst man aber nicht diese, sondern die Tafeln, und mittelst derselben werden die Böcke sogleich festgestellt. *) Aufserdem ist hierbei noch die Aenderung eingeführt, daſs der Grundbau sich nahe 1 Fuſs über das Fluſsbett erhebt, und sonach das Wehr sich aus einem festen und einem beweglichen Theil zusammensetzt.

Bei höherm Unterwasser, und wenn starker Wind das Wehr trifft, entsteht die Gefahr, daſs die Laufbrücke durch den Wellenschlag abgehoben wird und forttreibt. Diesen Uebelstand beseitigt man, wenn man die Ketten zwischen je zwei Böcken über die Brücke wirft. Es empfiehlt sich aber immer, die Brücke nicht zu niedrig zu legen, vielmehr die Böcke so hoch zu machen, daſs die Brücke etwa 1 Fuſs über denjenigen Wasserstand sich erhebt, bis zu welchem der Fluſs durch das Wehr aufgestaut werden soll. Dabei muſs man freilich auch auf die Nadeln Rücksicht nehmen, die alsdann um so länger, und wegen der nöthigen gröſsern Stärke in noch höherem Grade auch um so schwerer werden, und endlich nicht mehr sicher einzustellen sind. In den Wehren auf der Maas in Belgien hat man ihnen wohl die gröſste Länge gegeben, die bei Lüttich 10 Fuſs miſst.

Das Aufrichten des Wehrs und das Einsetzen der Nadeln erfordert gemeinhin keine groſse Eile, da der niedrige Wasserstand in Flüssen und Strömen sich nur langsam wieder einzustellen pflegt (§. 10.). Dagegen treten die Anschwellungen, namentlich in Gebirgsströmen (wo diese Wehre besonders Anwendung gefunden haben) oft plötzlich ein, und alsdann erlaubt die angegebne Einrichtung, wobei die Nadeln einzeln ausgehoben werden müssen, nicht ein so schnelles Manöver, als die Umstände fordern. Besonders zeigt sich dieses, wenn die Anschwellung während der Nacht eintritt, da die Arbeit in der Dunkelheit langsamer von Statten geht. Für Laternen und deren bequeme und sichere Aufstellung muſs natürlich gesorgt sein, aber man kann das Ausheben der Nadeln auch umgehn, und die ganze Reihe derselben zwischen zwei Böcken durch den Strom selbst plötzlich niederdrücken lassen, wenn man die eisernen Holme in ähnlicher Weise wie die oben beschriebnen Dreh-

*) *Annales des ponts et chaussées* 1845. *I. p.* 10.

balken einrichtet. Diese Anordnung ist bei dem Wehr zu St. Martin in der Seine gewählt. *)

Jede Nadel ist hier am obern Ende mit einem festen Ringe versehn. Man knüpft in den Ring der letzten Nadel vor einem Bock eine Leine, zieht diese durch alle Ringe der folgenden Nadeln bis zum nächsten Bock, und steckt hier die Leine an ein starkes Tau, welches über die ganze Länge des Wehrs reicht. Auf diese Weise bleiben beim Niederschlagen der Rüstung alle Nadeln bündelweise an dem Tau hängen, und da dieses nur an einem Ende befestigt ist, so treiben sie an das Ufer, so dafs man sie leicht fassen und lösen kann.

Die Eisenstäbe die theils zur Verbindung zweier Böcke dienen, und theils Holme sind, gegen welche die Nadeln sich lehnen, mufsten in diesem Fall eine andre Einrichtung erhalten, um schnell gelöst zu werden. Dabei aber war es auch nothwendig, dafür zu sorgen, dafs sie nicht etwa zufällig oder aus Muthwillen gelöst würden. Sie sind daher in Haken verwandelt, die sich auf den Böcken, wenn diese aufgerichtet waren, horizontal drehn lassen, und alsdann mit den hakenförmigen Enden die Bolzen auf den nächsten Böcken umfassen. Um sie in dieser Stellung zu sichern, lehnt sich eine excentrische Scheibe gegen sie. Diese wird durch einen Daumen gehalten, und letzterer läfst sich nur mittelst eines besonders geformten Schlüssels ausheben. Ist dieses aber geschehn, so kann man leicht die excentrische Scheibe und hierauf auch den Haken zurückschlagen, worauf der Bock umfällt und die Nadeln im Wasser schwimmen.

Bei diesem Wehr ist der Pfeiler nicht mit einer Nische versehn, in welche der letzte Bock sich niederlegt, vielmehr dreht sich der letzte Holm, dessen Länge der Höhe der Böcke gleich ist, um eine am Pfeiler befestigte verticale Achse. Sonach kann der Bock vor dem Pfeiler niedergelegt, und jener Holm, der durch eine Strebe vom untern Ende der Achse aus unterstützt wird, flach gegen den Pfeiler gedreht werden.

Die Erhaltung eines möglichst constanten Wasserstandes vor einem Nadelwehr erfordert besonders grofse Aufmerksamkeit, wenn weiter aufwärts im Flufs Mühlen liegen, zu deren Be-

---

*) *Annales des ponts et chaussées* 1843. *I. p.* 250.

trieb bald das Wasser angesammelt, und bald wieder abgemahlen wird. Alsdann ist der Wärter wegen des ungleichmäfsigen Zuflusses mit dem Ausheben und Wiedereinstellen der Nadeln fortwährend beschäftigt. Doch auch die natürliche Ansammlung des Wassers im Flufsbett ist gleichfalls in Folge der abwechselnden Witterung vielfachen und oft plötzlichen Aenderungen unterworfen, und die Aufgabe in Betreff des constanten Wasserstandes würde durch ein Ueberfallwehr von angemefsner Höhe, über welches das Wasser beim Anschwellen sich frei ergiefsen kann, um Vieles leichter zu lösen sein. Bei der gewöhnlichen Anordnung der Stauanlagen, wie nach obiger Mittheilung an der obern Seine und an der Marne, wobei das Ueberfallwehr in gleicher Richtung sich an das bewegliche Wehr anschliefst, sperrt das erstere einen grofsen Theil des Fluthprofils und mufs daher noch mit einem beweglichen Aufsatz versehn werden, der zur Zeit hoher Anschwellungen beseitigt wird.

In Belgien, und zwar an der Maas bei Lüttich, hat man zu diesem Zweck eine andre Anordnung getroffen, die für breite Ströme sehr passend ist. Das bewegliche Wehr, hier ein Nadelwehr, überspannt nämlich nicht in einer Linie den Strom, sondern ist vielmehr in zwei Theile zerlegt, von denen der eine einige hundert Fufs oberhalb des andern liegt, und die beiden Pfeiler, welche die Theile begrenzen und nahe in der Mitte des Stroms stehn, sind durch ein Ueberfallwehr mit einander verbunden, dessen Krone wenig unter dem normalen Wasserstande liegt. So lange letzterer nicht überschritten wird, fliefst gar kein Wasser, oder doch nur wenig herüber, bei stärkerem Zufluſs tritt aber dieses Wehr in Wirksamkeit und bei höheren Anschwellungen beschränkt es nicht wesentlich das Fluthprofil, weil es in der Richtung der Strömung liegt. Ein Uebelstand dabei ist nur, dafs das überstürzende Wasser gegen das Ufer gerichtet wird, woher man in schmalen Flüssen diese Anordnung nicht wählen darf.

Schliefslich mögen noch diejenigen Nadelwehre beschrieben werden, die in den Jahren 1862 bis 1864 in der Nähe von Saarbrücken ausgeführt wurden. Nach dem zwischen Preufsen und Frankreich im Jahr 1861 abgeschlofsnen Vertrage sollte der Rhein-Marne-Canal mit den Kohlenzechen bei Saarbrücken in schiffbare Verbindung gesetzt werden. Dabei war ausbedungen, dafs die Schiffahrts-Tiefe zur Zeit der kleinsten Wasserstände 5 Fufs betragen

solle. Französischer Seits wurde der Canal von Gondrexange am Rhein-Marne-Canal bis Saargemünd geführt, von hier ab der Flufs selbst bis vor Güdingen theils durch künstliche Vertiefung, besonders aber durch Anstauen des Wassers schiffbar gemacht. Preussischer Seits behielt man mit Ausnahme der kurzen Schleusen-Canäle gleichfalls das Flufsbett bei. Der Wasserstand mufste aber auch hier so gehoben werden, dafs der Stau sich jedesmal bis zur nächst oberhalb belegnen Schleuse erstreckte. Dieses Verfahren konnte ohne Nachtheil gewählt werden, da die Saar von Saargemünd abwärts bis Saarlouis sehr tief ihr Bett in die Thalsohle eingeschnitten hat, also eine Hebung des Wasserspiegels namentlich zur Zeit der niedrigen Wasserstände auf die daneben liegenden Ländereien ohne Einfluſs ist.

Die grofse Tiefe des Flufsbettes vergleichungsweise gegen die Thalsohle rührt ohne Zweifel davon her, dafs letztere in ihrer ganzen und stellenweise sogar in sehr grofser Breite sich zu einer Zeit bildete, als in dem weiter abwärts belegnen Sandsteingebirge oberhalb Mettlach die Saar weit höher, als jetzt, aufgestaut wurde. Auch gegenwärtig findet hier noch ein sehr starkes Gefälle statt (§. 30.), und man darf mit grofser Wahrscheinlichkeit annehmen, dafs dieses, indem es früher einen vollständigen Wasserfall bildete, das Bett um so heftiger angriff, und dadurch im Laufe der Zeit das natürliche Felswehr so weit beseitigte, dafs hier der Stau sich wesentlich verminderte, und nunmehr in dem aufgeschwemmten Boden weiter aufwärts die verstärkte Strömung die Sohle des Flufsbettes angriff, so dafs dieses tief unter die Thalsohle herabsank.

Im Preufsischen Antheil der Saar waren drei Schleusen nebst den zugehörigen Stau-Anlagen zu erbauen, nämlich bei Güdingen, bei Saarbrücken und bei Louisenthal. Bei kleinem Wasser betrugen die Gefälle 6,8 ... 6,7 und 7,2 Fufs. Die Schleusen erhielten dieselben Dimensionen, wie die des Rhein-Marne-Canals. Die Kammern waren 16 Fufs 7 Zoll weit und 109 Fufs 11 Zoll lang. Neben jeder Schleuse wurde eine Nadelwehr erbaut, in dessen Mitte ein massiver Pfeiler gestellt werden mufste, um während der Fundirung und der Erbauung des einen Theils denselben durch einen Fangedamm abschliefsen zu können, während das alsdann zugeführte Wasser in der andern Hälfte des Flufsbettes abfloſs. Die Länge jedes Wehrs oder die Weite der beiden Durchflufsöffnungen

wurde in der Art bestimmt, dafs der feste Unterbau zur Zeit der höchsten Anschwellungen das Wasser nur 4 bis 6 Zoll über den frühern Stand aufstaute. Aus diesem Grunde erhielt jede Oeffnung im Saarbrücker Wehr die Weite von 90 Fufs, während dieselbe in den beiden andern auf 80 Fufs beschränkt werden durfte.

Die Nadelwehre wurden im Allgemeinen in gleicher Weise angeordnet, wie in dem bereits beschriebnen Wehr bei Epineau, doch hatte der damalige Baumeister L. Hagen, der die Projecte aufstellte und ausführte, die an diesem, so wie auch an andern, theils in Frankreich und theils in Belgien ausgeführten, Wehren gemachten Erfahrungen zu manchen Aenderungen benutzt. Dieses sind folgende. *)

Der massive Unterbau oder der feste Wehrrücken, in Sandstein-Mauerwerk auf dem Felsboden ausgeführt und mit Quadern überdeckt, ist 22 Fufs breit. Seine Höhe entspricht der Höhenlage der Flufssohle an den flacheren Stellen. Er erhebt sich in allen drei Fällen über die dortige Sohle, und ist durch Steinpackung und Abpflasterung in Mörtel daran angeschlossen, während in gleicher Weise ein längeres Sturzbett ausgeführt wurde.

In diesem Rücken ist, wie Fig. 204. *C* auf Taf. XXIV. zeigt, eine 4 Fufs 7 Zoll breite und 1 Fufs tiefe Rinne gebildet, in welcher die Wehrböcke stehn, und worin sie beim Oeffnen des Wehrs niedergelegt werden. Die hölzernen Rahmen nebst Schwellen sind hierbei ganz umgangen, indem die Pfannen unmittelbar in die Werkstücke eingelassen und an dieselben befestigt wurden.

Wenn die Böcke aufrecht stehn, die Nadeln sich dagegen lehnen und das aufgestaute Wasser den Druck auf sie ausübt, so würde dieser Druck eine Drehung der Böcke um die stromabwärts gekehrten Achsen veranlassen. Dieses wird dadurch verhindert, dafs die entgegengesetzte, oder die stromaufwärts gekehrte Achse in einer geschlossenen Pfanne ruht, welche durch einen eisernen Anker, der in das Mauerwerk herabreicht, gegen das Ausheben gesichert ist. Fig. 204. *C* so wie auch Fig. 204. *B. d.* zeigt den obern Theil des Ankers. Derselbe greift unter die Steine, und ist hier mit einem langen Splint versehn.

---

*) Die Canalisirung der obern Saar in Erbkam's Zeitschrift für das Bauwesen 1866. p. 202.

Die Böcke sind aus Eisenstäben zusammengesetzt. Die beiden Stiele, wie auch die Streben, sind gewalzte Stangen von kreuzförmigem Querschnitt, wie Figur 204. *B. g.* zeigt. Die längeren Schenkel des Kreuzes liegen in der Ebne des Bockes, die kürzeren sind aber, wo sie an Winkeleisen oder Verbindungsplatten genietet sind, abgefeilt, wodurch sich die nöthigen breiten Flächen bilden. Die Verbindung des Stiels an der obern Seite des Bockes ergiebt sich aus den Figuren *B. a* und *b*, nämlich *a* für das obere und *b* für das untere Ende. Was das untere Ende betrifft, so steht dieses auf dem mittleren, prismatisch gestalteten Theil der Achse auf und ist mit demselben durch eine umgelegte starke Schiene verbunden. Das obere Ende wird von zwei Verbindungsplatten umschlossen, zwischen welchen in der Fortsetzung des Stiels der abwärts gekehrte Schenkel einer Eckschiene ruht, so wie eine zweite solche seitwärts liegt. Durch drei Niethe sind diese verschiedenen Theile mit einander verbunden, während noch andre Niethe die Verbindung der Platten mit den Eckschienen und der Strebe vermitteln. Fig. *B. a* zeigt aufserdem zwei aufrechtstehende Bolzen, die zur Verbindung der Böcke unter sich dienen, so wie auch in der Seitenansicht den an die Eckschienen genietheten Bügel, den Fig. 204. *C* deutlicher erkennen läfst. In der letzten Figur bemerkt man endlich auf der rechten Seite noch die aufwärts gerichtete Eisenstange, an welche beim Oeffnen und Schliefsen des Wehrs die ausgehobenen Nadeln gelegt werden.

Die stromaufwärts gekehrte Pfanne, worin die Achse des Bockes ruht, ist Fig. 204. *B. c* und *d* dargestellt. Derjenige Theil derselben, der die Achse umschliefst und das Aufheben verhindert, ist mit dem erwähnten Anker verbunden, daran ist aber ein zweites Eisen angeniethet, welches aufwärts in zwei divergirende Schienen ausläuft. Diese dienen zum bequemen Einstellen eines Bockes. Man braucht die Achse nur zwischen jene Schienen zu bringen, so wird sie beim weitern Senken schon von selbst in die Pfannen am Anker geführt.

Die gegenüber liegende Pfanne, Fig. 204. *B. e* und *f*, besteht aus einem gufseisernen Schuh, der sich oben gleichfalls erweitert, in welchen also die zweite Achse sehr bequem eingebracht werden kann, nachdem die erste eingestellt ist. Da jedoch beim Niederlegen, wie auch beim Aufrichten eines Bockes diese Achse stark

seitwärts gedrückt wird, und die Pfanne oben nicht geschlossen ist, so hat man eben so, wie im Wehr bei Epineau, das eigentliche Lager der Achse etwas seitwärts von der Oeffnung gerückt, damit es sich daraus nicht entfernen kann. Um dieses noch sicherer zu verhindern, verschliefst man bei Französischen Nadelwehren die Oeffnung durch einen hölzernen Pflock. Dieses ist indessen wohl entbehrlich und im vorliegenden Falle auch unterblieben, da keine Kraft die Achse beim Heben oder beim Senken des Bockes nach derjenigen Seite hinzieht, an welcher er sich gegen das Loth neigt.

Zum Aufheben und Niederlassen der Böcke bedient man sich keiner Ketten, sondern nur eines Hakens, der in den erwähnten Bügel greift. Liegt der Bock flach in der Rinne des Wehrrückens, so ist es leicht, den Haken an den obern Rahm zu legen, und indem man ihn neben demselben hinschiebt, so fafst er den Bügel, und zwei Mann, die gemeinschaftlich ziehn, stellen den Bock auf. Sobald er aber nahe die senkrechte Stelle einnimmt, so kann ein Mann ihn darin halten, und der zweite ergreift das Figur 199. auf Taf. XXIII. dargestellte Eisen, dessen beide Einschnitte er auf die Rahme des letzten und des nächst vorhergehenden Bockes einlegt, wodurch der erste festgehalten wird. Hierauf kann die aus drei Brettchen bestehende Brücke aufgebracht werden, und man sichert endlich die Stellung des neu aufgerichteten Bockes dadurch, dafs man auf den stromaufwärts gekehrten Rand des Bockes, so wie auch auf den des vorhergehenden eine Eckschiene auflegt, in der sich Löcher befinden, durch welche die oben erwähnten Bolzen hindurchgreifen, wie Fig. 204. *C* zeigt. Diese Schiene dient aber nicht allein zur Feststellung des Bockes, sondern gleichzeitig zur Stütze für die Nadeln, die unmittelbar dagegen gelehnt werden. Die Länge dieser Schienen ist so bemessen, dafs sie von der Mittellinie eines Bockes bis zu der des nächsten reichen. Wenn sie aufgebracht sind, bilden also die vortretenden Kanten aller Schienen eine gerade Linie.

Die Schwellen, gegen welche die untern Enden der Nadeln sich lehnen, bestehn aus besonders festen Steinen, und über den Vorsprung, den die Nadeln berühren, ist gleichfalls eine Eckschiene befestigt. Die Nadeln ruhn also, sowol oben wie unten, auf eisernen Schienen. Auf die untere Schiene ist jedoch vor jedem Bock ein Ansatz von 1 Zoll Breite angebracht, der zur Beurtheilung der

lothrechten Stellung der Nadeln dient. Derselbe verhindert indessen die zusammenhängende Aufstellung der Nadeln, und verursacht, dafs zwischen je zwei Feldern ein schmaler Raum frei bleibt. In der Regel ist dieses ohne Nachtheil, da das hinzufliefsende Wasser abgeführt werden mufs. Sollte indessen der Verlust so grofs werden, dafs der beabsichtigte Stau sich nicht erreichen läfst, so wird vor jede dieser Oeffnungen in diagonaler Richtung eine Nadel herabgeschoben.

In jeder der 80 Fufs weiten Oeffnungen befinden sich 21, in den 90 Fufs weiten dagegen 24 Böcke. Ihre gegenseitige Entfernung von Mitte zu Mitte mifst 3 Fufs 6½ Zoll. Die Entfernung des letzten Bockes vom Pfeiler ist aber gröfser und beträgt 5 Fufs 3 Zoll, woher die Nische, in welche der Bock beim Niederlegen eingreift, weniger tief werden durfte.

Die Nadeln sind mit Einschlufs der Handhabe 8 Fufs lang und 2½ Zoll im Gevierten stark. Sie werden stets in solcher Anzahl eingestellt, dafs die vorgeschriebene Stauhöhe sich bildet. Vorschriftsmäfsig darf das Oberwasser sich nie weiter, als höchstens um 3 Zoll von dem normalen Stande entfernen. Diese Bedingung ist indessen oft kaum zu erfüllen und fordert die höchste Aufmerksamkeit des Wärters, insofern die oberhalb belegenen Mühlen nicht ununterbrochen gehn. Aufserdem ist es Vorschrift, den Durchflufs möglichst gleichmäfsig über das ganze Wehr zu vertheilen, woher immer in gleichen Abständen einzelne Nadeln ausgehoben werden müssen.

Das Niederlegen eines Bockes mit Einschlufs aller Neben-Arbeiten erfolgt bei gehöriger Uebung des Wärters in einer Minute. Das Aufrichten erfordert mehr Zeit. Wenn für hinreichende Arbeitskräfte gesorgt war, so liefsen sich die sämmtlichen Nadeln eines Wehrs in 15 Minuten beseitigen. Der laufende Fufs der Wehre kostete durchschnittlich 132 Thaler.

Der schnelle Wechsel im Abflufs wurde vor der officiellen Eröffnung der Schiffahrt zum Räumen des Flufsbettes benutzt. Wenn man nämlich bei ziemlich niedrigem Oberwasser möglichst schnell die Nadeln einstellte, so verging eine geraume Zeit, bevor der volle Stau sich bildete, und während dieser Zeit erhielt die unterhalb belegene Strecke keinen Zufluſs. Das Wasser sank also in

ihr so tief, dafs man bequem die der Schiffahrt nachtheiligen Felsen sprengen und beseitigen konnte.

Aufserdem wurden auch Versuche über die Geschwindigkeit angestellt, womit eine Fluthwelle den Flufs verfolgte. Wenn man bei Louisenthal möglichst schnell die Nadeln aushob, so durchlief die Fluthwelle durchschnittlich die Meile in 2¼ Stunden. Im Anfangspunkt betrug ihre Höhe 4 Fufs, unterhalb Saarlouis war sie nur noch 2 Fufs, hinter Mettlach nur 1 Fufs, und bei Cues, wo sie 22 deutsche Meilen zurückgelegt hatte, nur 5 Zoll. Sie trat hier 48 Stunden nach Oeffnung des Wehrs ein. Ein Aufstau von 2 Zoll liefs sich aber noch bei Moselweiss, in der Nähe von Coblenz, erkennen.

Neunter Abschnitt.

Vertiefung des Fahrwassers.

§. 49.

Baggerung.

Durch Regulirung eines Stroms wird das Fahrwasser nicht nur vertieft, sondern auch in andrer Beziehung verbessert. Diese Verbesserung ist aber nachhaltig, weil man dabei nicht sowohl die Uebelstände selbst, als vielmehr die Ursachen beseitigt, die bisher zu ihrem Entstehn Veranlassung gaben. Wie sicher dieses Verfahren auch ist, so kann es dennoch unter Umständen nöthig werden, der Wirkung des Stroms durch unmittelbare Vertiefung des Fahrwassers zu Hülfe zu kommen. Man hat sogar in seltnen Fällen versucht, und noch häufiger vorgeschlagen, die Stromregulirung ganz zu unterlassen, und nur durch Baggerung ein brauchbares Fahrwasser darzustellen. Solche Versuche haben indessen wohl noch niemals zur Verbesserung längerer Stromstrecken geführt, und ergaben sich wahrscheinlich in den meisten Fällen auch als zu kostbar, sobald man die fortzuschaffenden Sand- und Erdmassen mit der Leistungsfähigkeit der Bagger verglich. Dazu kommt noch, dafs die künstlich dargestellte Tiefe sich nicht erhält, so lange die Ursache der Verflachung besteht. Die Versandungen treten besonders zur Zeit der höheren Wasserstände ein, wenn daher keine Stromregulirung vorgenommen ist, und die Fluthen unverändert ihren frühern Lauf behalten, so füllen sich die einzelnen vertieften Stellen bald mit Sand und Kies an, und der frühere Zustand des Bettes stellt sich wieder in gleicher Weise her, so dafs die Baggerung immer von Neuem vorgenommen werden mufs. Die Erfahrungen, welche man in dieser Beziehung an der Themse gemacht hat, sind bereits oben (§. 20.) erwähnt.

Die Baggerung kann indessen zuweilen zur Ausbildung des

Flufsbettes an einzelnen Stellen wesentlich beitragen, wenn man sie mit der Strom-Correction verbindet, und beide nach einem übereinstimmenden Plan ausführt. Man hat alsdann diejenige Rinne, in welche nach den festgelegten Uferlinien der Strom gewiesen wird, künstlich zu vertiefen, und hierdurch kann der beabsichtigte Erfolg schneller herbeigeführt werden, als wenn die Strombauten allein darauf hinwirken. Dieses Verfahren ist indessen mit grofsen Mehrkosten verbunden, und man entschliefst sich daher gemeinhin zu demselben nur, wenn die abzutreibenden Untiefen aus so festen Ablagerungen bestehn, dafs der Strom sie nicht beseitigen kann. Auch geschieht es zuweilen, dafs die erforderliche Tiefe durch Stromregulirung weder dargestellt, noch dauernd erhalten werden kann, wie zum Beispiel in Flufshäfen, oder auch in den unverhältnifsmäfsig erweiterten Flufsbetten innerhalb grofser Städte, woselbst die Erweiterung dadurch bedingt ist, dafs die Flufsbetten nicht nur das kleine und Mittelwasser, sondern selbst die höchsten Fluthen abführen müssen, weil die Ufer wasserfrei erhöht sind.

Das Baggern in Strömen ist auch von nachhaltigem Erfolg, wenn man die Richtung der zu vertiefenden Rinne so wählt, dafs sie die Strömung des Hochwassers aufnimmt, und man zugleich den ausgehobenen Boden zur Darstellung regelmäfsiger Ufer benutzt. Ausgedehnte Anlagen dieser Art sind so kostbar, dafs sie allein im Interesse der Schiffahrt wohl nie ausgeführt sind. Ist es dagegen Aufgabe, neben einem Flufs in dem beschränkten Thal desselben eine Eisenbahn zu erbauen, deren Dammschüttung grofse Erdmassen erfordert, so sind letztere vielfach am leichtesten durch Baggern im Flufsbett zu gewinnen, und indem die Bahn eine sichere und regelmäfsige Begrenzung des Bettes bis zu den höchsten Anschwellungen darstellt, so läfst sich die Austiefung der passenden Stromrinne bequem mit dem Eisenbahn-Bau verbinden. Dieses Verfahren hat bei Ausführung der Bahnen an der Elbe in Sachsen und Böhmen Anwendung gefunden.

Nach den bei Gelegenheit der Stromregulirung gemachten Mittheilungen ist die Benutzung von Bagger-Maschinen vielfach von grofser Wichtigkeit. Man braucht solche häufig, wenn ein bestehendes Fahrwasser geschlossen werden soll, zur Eröffnung des neuen, um die Schiffahrt nicht zu unterbrechen, vorzugsweise aber um das für die Strombauten erforderliche Beschwerungs- oder Füllungs-Ma-

terial mit den geringsten Kosten zu gewinnen. Dazu kommt aber, dafs an manchen Stellen auch nach der Correction das Hochwasser nicht in das Strombett gewiesen werden kann, und letzteres daher beim Wiedereintritt des niedrigen Wassers stellenweise sich so verflacht, dafs die Schiffahrt unterbrochen oder doch erschwert wird. Alsdann ist wieder die sofortige künstliche Vertiefung dringend geboten. Aus diesen Gründen sind bei uns in neuerer Zeit für die gröfsern Ströme, wie den Rhein und die Elbe, kräftige Dampfbagger beschafft worden.

Indem die Bagger aber vorzugsweise in den Seehäfen Anwendung finden, so wird ihre nähere Beschreibung im dritten Theile dieses Handbuches mitgetheilt. Hier wäre nur zu bemerken, dafs man zuweilen auch die Kraft des Stroms zu ihrem Betriebe benutzt, indem das Bagger-Fahrzeug an beiden Seiten Schiffsmühlenräder trägt, welche die Maschine in Bewegung setzen. Dieses geschieht am Rhein, doch vorzugsweise nur zur Gewinnung des zu Schüttungen erforderlichen Materials, da die Maschine nicht kräftig genug ist, um besonders feste Ablagerungen im Fahrwasser anzugreifen.

Die Correction der Clyde, unterhalb Glasgow hat wohl mehr, als jedes andre ähnliche Unternehmen die allgemeinste Aufmerksamkeit erregt, und indem dabei sehr ausgedehnte Baggerungen zur Anwendung kamen, so fand in manchen Kreisen selbst in Deutschland die Ansicht Eingang, dafs die überaus wichtigen Erfolge, die hier erreicht sind, vorzugsweise durch Baggerungen veranlafst wären. Dieses ist indessen keineswegs der Fall, vielmehr war auch hier, wie bei unsern Regulirungen, die Strömung besonders wirksam. Die nähere Beschreibung des frühern und spätern Zustandes der Clyde, sowie der Anlagen, die daselbst vorgeschlagen und ausgeführt sind, wird nicht nur zur Beurtheilung des Nutzens der Baggerung in ähnlichen Fällen dienen, sondern auch als das wichtigste Beispiel einer Stromregulirung in Grofsbritannien von Interesse sein. *)

Smeaton untersuchte im Jahre 1755 die Clyde und schilderte sie als einen gänzlich verwilderten Strom. Ihre Breite betrug an den schmalsten Stellen 440 Englische Fufs, gemeinhin war sie grös-

*) Die folgende historische Darstellung ist aus dem Werke: *Life of Telford*, Seite 492 bis 501 entnommen.

ser und stellenweise mafs sie sogar 1400 Fufs. Der Stromlauf war durchaus ungeregelt und häufig scharf gekrümmt. Schweres Geschiebe lagerte im Bette und bildete feste und hohe Kiesbänke, welche den Strom vielfach spalteten und gegen die Ufer wiesen. Letztere bestanden im Allgemeinen nur aus leichtem Material, welches keinen Widerstand leistete. Sie brachen daher immer von Neuem ab und gaben dadurch zu fortwährenden Veränderungen Veranlassung. In den flachsten Stellen von Glasgow abwärts bis Renfrew blieb zur Zeit der gewöhnlichen Ebben nur ein Wasserstand von 1 Fufs 6 Zoll, der zur Zeit der Fluthen bis auf 3 Fufs 6 Zoll zunahm. In Glasgow war wegen der vielen Hindernisse, welche die Fluthwelle antraf, das Steigen der täglichen Fluth kaum zu bemerken. Unter diesen Umständen verzweifelte Smeaton daran, den Strom bis Glasgow aufwärts schiffbar machen zu können, und begnügte sich mit dem Vorschlage, bei Marlingford, wo die gewöhnliche Fluth 2 Fufs 6 Zoll auflief, und wohin kleine Schiffe von etwa 6 Fufs Tiefgang noch gelangen konnten, ein Dock, d. h. ein Hafen-Bassin zu erbauen, worin das Hochwasser durch eine Schleuse zurückgehalten wird.

J. Golborne, der 1768 zu Rathe gezogen wurde, empfahl die Einschränkung des Strombetts durch Dämme, die vom Ufer aus vortreten, also durch Buhnen. Sie sollten, wie er sagte, das Wasser zusammenhalten, und den Angriff desselben auf das Bett verstärken. 1772 wurde der erste Versuch dieser Methode bei Dumburk-Ford gemacht, und zwar die Einschränkung bis auf 300 Fufs getrieben. Golborne hatte nur 6 Fufs Fahrtiefe bei kleinem Wasser in Aussicht gestellt, die Tiefe war aber im nächsten Jahre schon 7 Fufs und acht Jahre später sogar 14 Fufs. Nachdem der günstige Erfolg sich hier herausgestellt hatte, wurde seit dem Jahre 1773 in gleicher Weise auf allen Stellen verfahren, wo es an Tiefe mangelte, und 1799 wies Rennie die grofsen Erfolge nach, die man am ganzen Strom bereits erreicht hatte.

1806 wurde Thomas Telford wegen fernerer Verbesserungen der Clyde befragt. Er sprach sich unbedingt dafür aus, dafs man die Vertiefung des Bettes durch den Strom selbst veranlassen, und zwar besonders auf die Strömung der Fluth Rücksicht nehmen müsse, d. h. auf diejenige, welche von der See her aufwärts gekehrt ist. James Walcker hielt dagegen in einem spätern Gutachten (vom

Jahre 1835) den Ebbestrom oder den seewärts gerichteten für den wirksamern.

1807 untersuchte Rennie nochmals den Zustand der Clyde. Es waren einhundert und zehn Steinbuhnen ausgeführt, deren Wirkung im Allgemeinen nicht zu verkennen war, die aber dennoch, weil sie zu weit von einander entfernt lagen, nicht immer die beabsichtigten Erfolge herbeigeführt, und mitunter wohl selbst Veranlassung zu Unregelmäfsigkeiten gegeben hatten. Er schlug daher vor, die Köpfe derselben durch Parallel-Dämme zu verbinden, und so das neue schmale Strombett mit zusammenhängenden Ufern zu versehn, wodurch die Vertiefung vollständiger erfolgen würde.

Dieser Vorschlag kam seitdem zur Ausführung, und da die Buhnen nicht nahe genug lagen, um sich gegenseitig gehörig zu unterstützen, so zeigten sich die Paralleldämme als sehr nützlich. Aufserdem gewährten sie noch den Vortheil, dafs die Strömung in den nunmehr ganz abgeschlofsnen Theilen des alten Bettes aufhörte, und die Uferbewohner dadurch veranlafst wurden, dieselben mit Erde anzufüllen und künstliche Wiesen daraus zu bilden.

Ein Bericht von John Clarke vom November 1824 besagt, dafs damals Seeschiffe von 11 Fufs Tiefgang mit der Fluth bis Glasgow heraufgingen. In dieser Zeit machte endlich Whidbey darauf aufmerksam, dafs einzelne Kiesbänke, der Einschränkung ohnerachtet, sich dauernd im Strombett erhalten, und sowohl das Aufgehn grösserer Schiffe hindern, als den Strom der Fluth schwächen. Er empfahl, dieselben durch kräftige Baggermaschinen zu beseitigen. Dieser Vorschlag wurde angenommen, und erwies sich gleichfalls durch den Erfolg als sehr zweckmäfsig.

Aus dem bereits erwähnten Berichte von James Walcker vom Jahre 1835 ergiebt sich, dafs bis Glasgow aufwärts die flachsten Stellen, die zur Zeit des kleinsten Wassers früher nur 1 Fufs 6 Zoll tief gewesen waren, damals bei demselben Wasserstande die Tiefe von 7 bis 8 Fufs hatten, dafs ferner der tägliche Unterschied zwischen dem kleinen und hohen Wasser, den man früher in Glasgow kaum bemerken konnte, nunmehr daselbst zur Zeit der Springfluthen 7 bis 8 Fufs und zur Zeit der todten Fluthen 4 Fufs betrug, woher nach Maafsgabe der Höhe der Fluthen, Schiffe von 11 bis 15 Fufs Tiefgang nach Glasgow aufgingen.

Es mufs bemerkt werden, dafs man ähnliche günstige Erfolge

in den oberländischen Strömen, von denen hier nur die Rede sein sollte, nie erwarten kann. Die überraschende Vergröfserung der Tiefe in der Clyde rührt allein davon her, dafs man den Fluthstrom verstärkte, wie dieses Telford auch als die Hauptaufgabe bezeichnete. Dadurch ist die Wassermenge, welche das Bett bald in einer, bald in der andern Richtung durchströmt, um das Vielfache vergröfsert und der kleine Flufs in einen starken Strom verwandelt. Dieselben günstigen Erfolge kann man aber unter gleichen Verhältnissen auch in andern Fällen, und selbst in Deutschland an den untern Theilen der Ströme erwarten, die sich in die Nordsee ergiefsen. Das Beispiel der Clyde zeigt, was man erreicht, wenn man das Eintreten der Fluthwelle erleichtert, die Baggerung war dabei aber nur ein untergeordnetes Hülfsmittel und hatte allein den Zweck, die Untiefen zu beseitigen, welche die Fluthwelle schwächten, also eine gröfsere Wassermasse in jeder Fluthperiode dem oberhalb belegnen Stromtheil zuzuführen.

An einzelnen Stellen, die theils besonders breit, theils auch ziemlich unregelmäfsig waren, mufsten indessen, wie ich im Jahr 1852 sah, mehrere kräftige Dampfbagger auch benutzt werden. Dabei drängte sich die Frage auf, ob dieses kostbare und lästige Auskunftsmittel nöthig gewesen wäre, wenn man die Stromregulirung systematisch zur Ausführung gebracht hätte. Lagan behauptete auch in dem Gutachten, welches J. Walcker 1836 prüfen sollte, dafs die Buhnen sehr unregelmäfsig vortreten und stellenweise den Strom mit Rücksicht auf die vergröfserte Wassermenge zu stark einschränken, woher er den Vorschlag machte, eine durchgreifende Aenderung in dieser Beziehung noch einzuführen.

§. 50.

Auflockern des Grundes.

Wenn eine Untiefe, die man beseitigen will, aus dicht gelagertem, vielleicht durch Thon gebundenem Material besteht, so läfst die Wirkung des Stroms auf sie sich dadurch verstärken, dafs man die Masse in der Oberfläche oder vielleicht bis zu einiger Tiefe auf-

lockert. In dieser Weise wird nicht selten in Stromdurchstichen sowol die Sohle, wie auch die Seitenwände des Grabens, der sich zum neuen Bette ausbilden soll, durch darüber gezogene Anker oder in andrer Weise aufgelockert und die Abführung der gelösten Masse durch den Strom erwartet. Dasselbe Verfahren ist auch in andern Fällen zur Verbesserung bestehender Fahrwasser in Anwendung gebracht. Im Vergleich mit der Baggerung gewährt es den grofsen Vortheil, dafs man das gelöste Material weder heben, noch bei Seite schaffen darf. Die Anordnung läfst sich aber auch in der Art treffen, dafs der Strom den Apparat in Betrieb setzt, der die Auflockerung bewirkt, und sonach keine fremde Kraft zur Bewegung der Maschine erforderlich ist.

Die Resultate dieser Versuche sind nach den darüber bekannt gewordnen Nachrichten sehr verschieden ausgefallen. In manchen Fällen waren sie überraschend grofs, in andern gar nicht bemerkbar, woher vielfach die Ansicht ausgesprochen wird, dafs es ein vergebliches Bemühen sei, durch Auflockern des Grundes ein Fahrwasser vertiefen zu wollen. Nichts desto weniger haben die im nördlichen Deutschland, in den Niederlanden und in England seit sehr langer Zeit in kleineren Häfen gemachten Erfahrungen doch unzweifelhaft das Gegentheil erwiesen *), und hieran schliessen sich auch verschiedne andre Erfahrungen an. Jedenfalls ergiebt sich aber aus diesen, dafs günstige Erfolge nur bei hinreichend kräftiger Strömung zu erwarten sind, welche im Stande ist die gelöste Erde oder den Sand fortzutreiben, dafs aber aufserdem auch die Stellen, wo man den Grund angreift, passend gewählt und überhaupt die Arbeit mit Ueberlegung und Aufmerksamkeit geleitet werden mufs.

Wenn eine Untiefe im Flufsbette durch den Strom allein nicht angegriffen wird, sich aber verliert, sobald man ihre Oberfläche auflockert, ohne dafs eine sonstige Veränderung des Bettes oder der Strömung eintritt, so mufs man annehmen, dafs zum Forttreiben des bereits gelösten Materials eine geringere Kraft erforderlich ist, als zum Lösen desselben. Beim Thon, dessen einzelne Körnchen im Wasser schweben, und sonach der geringsten Bewegung

---

*) Reisebemerkungen hydrotechnischen Inhalts von H. Hübbe. Hamburg 1844.

folgen, findet dieses ohne Zweifel statt, und namentlich dürfte der Unterschied der Kräfte, die zu beiden Wirkungen erforderlich sind, bei festem Thonboden sehr grofs sein, da ein solcher selbst von einer starken Strömung wenig angegriffen wird. Bei diesem Boden findet aber auch die Auflockerung ganz besondre Schwierigkeiten und ist wohl noch nie durch bloſses Aufkratzen der Oberfläche mit Erfolg versucht worden. Mehrfach hat man dagegen den mit Wasser durchgezogenen Thon in dieser Weise beseitigt, und es scheint, dafs hierbei gerade die günstigsten Resultate erreicht sind.

Der Sand bewegt sich auf zwei verschiedne Arten in dem Flufsbette. Ist die Strömung so schwach, dafs die gelösten Körnchen nur auf dem Boden fortrollen, so kann ihre Bewegung durch den Kratz-Apparat befördert werden. Wenn der gelöste Sand aber andrerseits durch die starke Bewegung des Wassers gehoben und schwebend fortgeführt wird, so wird die Sandbank wohl jederzeit schon durch den Strom selbst in Angriff versetzt. Der Erfolg der Auflockerung würde also in diesem Fall darin bestehn, dafs eine Wirkung, die schon von selbst eingetreten ist, in gröfserm Maafse hervorgerufen wird. Dem Kies, der immer nur längs der Sohle des Bettes fortrollt, kann der geringe Stofs der Kratz-Maschine keinen so heftigen Impuls ertheilen, dafs eine weite Fortsetzung seiner Bewegung dadurch herbeigeführt werden sollte. Häufig sind aber die Kiesbänke mit Sand und selbst mit Thontheilchen so durchzogen, dafs alle einzelnen Steine, und namentlich die der Oberfläche, darin ganz fest gebettet sind, und eine bedeutende Kraft erforderlich ist, um sie herauszureifsen. In diesem Fall ist die Auflockerung von grofser Wirksamkeit, doch mufs dieselbe vorgenommen werden, während die Strömung recht kräftig ist, woher gewöhnlich nicht der Eintritt des niedrigsten Wassers abgewartet werden darf.

Es ergiebt sich aus dem Vorstehenden, dafs eine schwache Strömung, die an sich den Grund nicht angreift, auch das gelöste Material gar nicht, oder wenigstens nicht weit forttreiben wird. Die Verhältnisse gestalten sich aber günstiger, wenn man eine stärkere Strömung berücksichtigt, die schon den Sand und Kies in Bewegung setzt, und in Bewegung erhält, die aber das Bett nur wenig angreift, weil ihre Wirkung sich allein auf diejenigen Körner und Steinchen erstreckt, die über die allgemeine Oberfläche vorra-

gen, und dem Wasser eine gröfsere Angriffsfläche darbieten. Wenn in diesem Fall die Auflockerung des Grundes stattfindet, so wird gleichzeitig eine grofse Masse des Materials dem Angriff des Wassers ausgesetzt und fortgetrieben. Hierdurch erklärt es sich, dafs nur diejenigen Versuche zur Beseitigung von Kies- und Sandbänken durch Auflockern der Oberfläche von Erfolg waren, die von einer kräftigen Strömung unterstützt wurden.

Nach Dubat's Ansicht tritt in jedem sich selbst überlassenen Flufsbett ein gewisser Beharrungszustand ein, wobei die Sandbänke sich weder weiter ausdehnen, noch auch durch den Strom angegriffen werden. Dubuat setzt nämlich voraus, dafs die Beschränkung des Profils durch Niederschläge sich im Laufe der Zeit so weit ausdehnt, bis in Folge dieser Beschränkung die mittlere Geschwindigkeit des Wassers so grofs wird, dafs eine fernere Ablagerung von Sand und Kies nicht mehr erfolgen kann. Ein solcher Beharrungszustand des Bettes ist indessen nur denkbar, wenn der Wasserstand unverändert derselbe bleibt. Dieses ist aber nicht der Fall, und sonach ist das Strombett, wenn es auch durch feste Ufer eingeschlossen wird, fortwährenden Veränderungen unterworfen. Bei höherm Wasser pflegen sich die Untiefen auszudehnen und an Höhe zuzunehmen, während sie beim Fallen des Wassers wieder ablaufen. Besonders geschieht dieses, wenn die Hauptströmung des Hochwassers das Flufsbett oder das Fahrwasser verläfst. Man kann solche Verflachungen durch Auflockern der Oberfläche forttreiben, wenn man den starken Strom des Mittelwassers benutzt, und die Operation vornimmt, sobald jene Seitenströmung des Hochwassers sich schwächt oder so eben aufgehört hat. Gemeinhin geschieht dieses, wenn der Strom in sein Bett zurücktritt und bordvoll dasselbe durchfliefst. Man mufs also schon bei höherem Wasserstande den Grund angreifen. Alsdann wird die Arbeit auch noch dadurch erleichtert, dafs die Schiffe ohne Nachtheil das eigentliche Fahrwasser verlassen können, und die Vertiefungs-Arbeiten weniger unterbrochen werden.

Die Auflockerung des Grundes wird mehrfach mit Apparaten ausgeführt, die zugleich eine Verstärkung des Stroms an der anzugreifenden Stelle veranlassen. Man hat zuweilen förmliche Stauanlagen gebildet, wodurch das Wasser angespannt, und eine kräftige Strömung erzeugt wird, welche das gelöste Material forttreibt,

In vielen Fällen bewirkt ein solcher Strom sogar allein den Angriff der Untiefen, und die mechanische Auflockerung unterbleibt ganz. Anordnungen der letzten Art gehören zwar nicht hierher, da sie aber mit der in Rede stehenden Operation viele Aehnlichkeit haben so mögen sie hier gleichfalls beschrieben werden.

Endlich ist noch darauf aufmerksam zu machen, dafs wenn auch keine besondere Vorkehrungen zur Verstärkung des Stroms getroffen werden, eine solche dennoch in vielen Fällen bei der zunehmenden Vertiefung der Rinne von selbst eintritt. Häufig wiederholt sich nämlich der Fall, dafs die Bank, die man beseitigen will, das ganze Flufsbett durchsetzt, und das Wasser dieselbe entweder ziemlich gleichmäfsig überströmt, oder sich nur in einer engen und gekrümmten Rinne hindurchzieht. Dieser Fall ist der gewöhnliche, da die Verbesserung des Fahwassers überflüssig wäre, wenn dasselbe in gehörigen Dimensionen und angemefsner Richtung bereits bestände. Sobald man also zur Vertiefung durch Auflockern des Grundes schreitet, hat der Strom sich gewöhnlich noch nicht in einem gehörigen Schlauch gesammelt, und häufig existirt in Folge des Staues, den die Bank erzeugt, ein merkliches Gefälle an solcher Stelle. Wenn man daher auch nur eine flache Rinne eröffnet, so bildet sich hier eine stärkere Strömung, als auf dem übrigen Rücken der Fläche. In Folge derselben tritt eine geringe Senkung des Oberwassers ein, hierdurch wird die Strömung zur Seite geschwächt, und diejenige durch die Rinne in entsprechender Weise verstärkt. Die Rinne bildet sich sonach vollständiger aus, und wenn ihre Richtung passend gewählt war, so wird die stärkere Strömung während der niedrigeren Wasserstände dieselbe verfolgen, und Verflachungen darin verhindern. Beim Hochwasser treten freilich häufig andre Verhältnisse ein, und wenn dieses einen ganz andern Weg nimmt, so kann es leicht geschehn, dafs nach seinem Abgange keine Spur der frühern Vertiefung zu bemerken ist. Läfst sich der Strom des Hochwassers nicht in diese Rinne, also nicht in das eigentliche Flufsbett weisen, so ist die Tiefe auch nicht dauernd gesichert, und mufs periodisch immer aufs Neue in gleicher Weise dargestellt werden.

Es bleibt noch eines Bedenkens zu erwähnen, dafs man zuweilen gegen die Auflockerung des Grundes erhebt. Man besorgt nämlich, dafs das gelöste Material sich an andern Stellen abla-

gern und daselbst neue Untiefen bilden möchte. Eine solche Besorgnifs ist indessen nicht gegründet, da die Masse Sand oder Kies, welche der Strom zur Zeit des Hochwassers mit sich führt, im Vergleich zu der kleinen Quantität, die aus einer Stelle des Fahrwassers herausgetrieben wird, so grofs ist, dafs letztere merkliche Versandungen nicht veranlassen kann.

Zuweilen versuchen die Schiffer selbst, die Untiefen, die sie nicht überfahren können, durch künstliche Verstärkung des Stroms zu beseitigen. Sie führten auf der Saar in frührer Zeit zu diesem Zweck zwei breite Bohlen von der Länge des Schiffes mit sich. Dieselben waren vorn und hinten an den Seiten des Schiffes befestigt, und zwar so, dafs sie hochkantig im Wasser schwammen. Sobald das beladne Schiff, das hier immer stromab geht, auf eine Kiesbank gelaufen war, wurden die Bohlen am hintern Ende gelöst. Sie breiteten sich alsdann wie Flügel zu beiden Seiten aus und bildeten im Fahrwasser eine schwimmende Rinne, die stromaufwärts weit geöffnet war, stromabwärts dagegen nur die Breite des Schiffes hatte. Die hierdurch erzeugte heftige Strömung griff die Kiesbank an der Stelle an, wo das Schiff aufsafs, und gemeinhin vergröfserte sich in kurzer Zeit die Tiefe daselbst so sehr, dafs das Schiff darüber fortschwimmen und die Fahrt fortsetzen konnte. Das folgende Schiff mufste alsdann, wenn es eben so tief ging, genau dieselbe Stelle passiren, denn der ausgetriebne Kies war an beiden Seiten liegen geblieben, und hatte häufig ein gutes Fahrwasser verdorben, welches der erste Schiffer nur aus Unachtsamkeit verfehlt hatte.

Wenn mehrere Schiffe zusammenfahren, und eines auf den Grund gerathen ist, oder die Sandbank für den Tiefgang der Schiffe zu hoch liegt, so pflegt man zuweilen ein kleineres Fahrzeug auf die flache Stelle zu bringen, und es daselbst in schräger Richtung festzulegen, indem man es voll Wasser laufen läfst, oder es auf andre Weise so belastet, dafs es auf dem Grunde aufsteht. Es fängt alsdann den Strom auf, und indem es einer declinanten Buhne ähnlich wirkt, so greift der Strom zuweilen die Sandbank so stark an, dafs die Schiffe, ohne zu lichten, darüber fahren können.

Aehnlich ist das Verfahren, wodurch die Fischer im mittleren Italien zur Zeit des niedrigen Wassers dieses zu sammeln und so zu leiten pflegen, wie es ihnen am vortheilhaftester erscheint,

Sie benutzen dazu ein Instrument, Raschio (Kratze) genannt, welches Fig. 205. auf Taf. XXV. dargestellt ist. Dasselbe besteht in einem Brett von etwa 5 Fuſs Länge, welches durch einen in der Mitte befestigten Stiel so gehalten wird, daſs es hochkantig auf dem Fluſsbett steht. Aufserdem ist ein zweiter Stiel gleichfalls in der Mitte des Brettes normal gegen die Oberfläche desselben, also rechtwinklig gegen den ersten Stiel, angebracht. Der letzte Stiel liegt flach auf dem Boden und zwar stromaufwärts gekehrt. Indem der Fischer auf diesen tritt, so verhindert er das Drehn des Brettes, während der erste Stiel, der mit den Händen gehalten wird, die aufrechte Stellung sichert. Dieses Brett fängt das Wasser auf und verursacht vor seinem abwärts gekehrten Ende einen starken Strom, und sonach die Vertiefung des Grundes. Der Apparat bleibt aber nicht lange an seiner Stelle, denn das Wasser, welches davor anschwillt, drückt ihn stromabwärts. Man läſst ihn langsam herabtreiben, indem man nur dafür sorgt, daſs das Brett die passende Richtung gegen den Strom behält, und sich zugleich dahin bewegt, wo die Vertiefung bewirkt werden soll. Es ist also gleichsam eine bewegliche Buhne, die stromabwärts geführt wird, und nicht einen isolirten Kolk, sondern eine zusammenhängende tiefere Rinne vor ihrem Kopfe bildet.

Mit diesem zuletzt beschriebnen Verfahren stimmt ziemlich nahe dasjenige überein, welches von den Französischen Ingenieuren zur Vertiefung der Durchstiche am Ober-Rhein in Anwendung gebracht ist.*) Zwei Fahrzeuge wurden durch übergelegte Balken so aneinander befestigt, daſs zwischen beiden ein freier Raum oder eine Rinne von 6½ Fuſs Breite offen blieb. In diese konnte ein Schütz von 2 Fuſs Höhe herabgelassen werden, zu welchem Zweck zwei Griessäulen zur Seite der Fahrzeuge angebracht waren. Das Schütz wurde nicht bis zum Grunde herabgelassen, sondern nur so tief, daſs seine Oberkante einige Zoll unter Wasser lag, alsdann bewirkte theils der verstärkte Strom unter demselben, theils der Stoſs des überstürzenden Wassers die Vertiefung. Die beiden Fahrzeuge aber wurden vom Ufer aus an Tauen gehalten, und indem man diese nach und nach auslaufen lieſs, so trat die beabsichtigte Vertiefung in der ganzen Länge des Durchstichs ein. Der Erfolg

*) *Annales des ponts et chaussées* 1833. *II. p.* 123.

soll nach der Mittheilung des Ingenieur Defontaine wunderbar grofs gewesen sein, indem die Tiefe sichtlich zunahm, und in wenig Tagen die Durchstiche doppelt so breit und um 3 Fufs tiefer wurden, als sie ausgegraben waren.

Die Vorrichtung, welche man ungefähr gleichzeitig auf der Garonne zur Vertiefung der Furthen benutzte, und die nach der Mittheilung des Ingenieur Borrel *) gleichfalls sehr befriedigend wirkte, ist Fig. 206. *a*, *b* und *c* in der Ansicht von der Seite, von hinten und im Grundrifs dargestellt. Am vordern Ende des Schiffes war die Stauwand befestigt, an dieser befanden sich zwei Flügel, welche stromaufwärts divergirten. Sie fingen das Wasser auf und leiteten es unter das Schiff. Sie drehten sich wie Thüren um vertikale Achsen und konnten nach Belieben mehr oder weniger geöffnet werden. Ein Tau, welches beide verband, sicherte ihre Stellung, so wie auch zu diesem Zweck zwei Schienen dienten, die gegen vorstehende Bolzen in dem obern Balken der Stauwand befestigt wurden. Der mittlere Theil der Stauwand war 16 Fufs lang und 3 Fufs hoch. Es befandcn sich darin zwei kleine Schütze, die in Fig. 106. *b* sichtbar sind. Die Wand ruht auf zwei mit eisernen Schuhen versehnen Stielen. Die Flügel sind 3 Fufs lang und hoch. Die ganze Wand ist an einem Rahmen befestigt, welcher der gröfsern Deutlichkeit wegen in Fig. 206. *a* und *c* schraffirt ist, derselbe kann mittelst einer Winde und eines Bockes beliebig gehoben und gesenkt werden. Bei Zurückführung des Schiffes mufs aber die Hebung so weit erfolgen, dafs die Wand mit den Flügeln aus dem Wasser tritt.

Will man die Operation beginnen, so stellt man oberhalb der zu vertiefenden Rinne, und zwar in der Verlängerung der beiden Seitenwände derselben zwei Pfähle auf, treibt sie fest in den Grund ein und bindet hieran die beiden Leit-Taue. Letztere dienen dazu, das Schiff mit der Stau-Vorrichtung zu halten, und es langsam durch die Rinne treiben zu lassen. Jedes dieser Taue ist um den abgerundeten obern Kopf eines der beiden bereits erwähnten Stiele geschlungen, und die Enden werden von zwei Arbeitern gehalten und langsam nachgelassen, wodurch nicht nur die Geschwindigkeit des Schiffes regulirt, sondern auch seine Stellung in der Rinne be-

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1836, I. Seite 73.

dingt wird, so dafs es beliebig dem einen oder dem andern Ufern genähert werden kann. Der unter der Stauwand hindurch tretende Strom erzeugt die Vertiefung, und der gelöste Kies wird zum Theil zur Seite geworfen, zum Theil bleibt er aber auch weiter abwärts in der Rinne liegen, und mufs, wenn das Schiff vorrückt, aufs Neue vertrieben werden. Hält man das Schiff zu lange an einer Stelle, so lagert sich der Kies in so grofser Menge unter dem Schiff, dafs man ihn nicht leicht wieder in Bewegung setzen kann, und wenigstens der regelmäfsige Fortgang der Arbeit gestört wird. In diesem Fall, den man jedoch immer möglichst vermeiden mufs, werden die Schütze geöffnet, um eine noch stärkere Strömung zu erzeugen, wodurch die einzelnen hohen Anhäufungen des Kieses angegriffen werden. Die Erfahrung ergab, dafs die Operation am schnellsten und regelmäfsigsten von Statten ging, wenn das Schiff in 2 Minuten 3 Fufs zurücklegte, oder mit der Geschwindigkeit von 0,3 Zoll sich bewegte. Der Strom unter der Stauwand war aber am wirksamsten, wenn dieselbe 6 bis 7 Zoll über der zu beseitigenden Untiefe schwebte. Hiernach war die Tiefe bemessen, um welche die beiden erwähnten Stiele unter die Wand herabreichten.

Wenn der natürliche Strom die Geschwindigkeit von 3 Fufs in der Sekunde hatte, so war der Erfolg schon zu bemerken, doch blieb er noch ziemlich unbedeutend. Bei der Geschwindigkeit von 5 Fufs war er aber überraschend grofs, so dafs man die Rinne nur einigemal durchfahren durfte, um sie genügend, also etwa um 1 Fufs zu vertiefen. Die Breite derselben maafs 32 Fufs.

Ich gehe nunmehr zur Beschreibung der Versuche über, die sich auf das eigentliche Auflockern oder Kratzen des Grundes beziehn. Am einfachsten werden sie in der Art angestellt, wenn man zur Zeit einer starken Strömung leichte Anker mit mehrern Armen, oder sogenannte Dragger an Fahrzeuge hängt, und diese mit dem Strom treiben läfst. Statt der Dragger nimmt man auch zuweilen andre mit vorstehenden Zähnen versehne Apparate, die einem Rechen oder einer Egge nicht unähnlich sind, oder auch wohl Ketten mit Haken und gezahnten Scheiben u. dergl. Andrerseits kann der Stofs des strömenden Wassers gegen die Fahrzeuge auch auf verschiedne Art verstärkt werden. Man läfst zu diesem Zweck die Fahrzeuge zuweilen in der Quere treiben, oder man befestigt daran Tafeln von Holz, die möglichst tief in das Wasser

eingreifen, oder spannt auch vollständige Segel unter Wasser aus, die durch angehängte Gewichte oder Stangen ausgebreitet werden. Man erreicht dadurch den Vortheil, dafs man selbst durch kleinere Fahrzeuge die Kratz-Apparate in Thätigkeit setzen kann.

Schon Belidor*) erwähnt eines Versuchs (vielleicht auch nur eines Vorschlags), wonach eine hölzerne Trommel von 5 bis 6 Fufs Durchmesser, deren cylindrische Fläche mit vorstehenden starken Zinken von Eisen versehn ist, durch einen davor gespannten Nachen über die zu vertiefende Stelle gerollt wird.

Einigermaafsen ähnlich dieser Vorrichtung ist die Kratzmaschine, deren man sich in neurer Zeit am Rhein bedient, um fest abgelagerte Kiesmassen dem Angriff des Stroms auszusetzen. Eine mit eisernen Zinken besetzte Walze, welche beliebig gehoben und gesenkt werden kann, wird durch ein zwischen zwei Fahrzeugen hängendes Schiffsmühlen-Rad in Bewegung gesetzt. Bei angemefsner Strömung vertieft diese Maschine in einem Tage eine Fläche von 70 Quadratfufs um 1 Fufs. **)

Woltman***) versuchte im Jahre 1823, einige Untiefen in der Elbe ohnfern Hamburg durch Auflockern des Grundes zu beseitigen, und zwar traf er dabei die Anordnung, dafs der Strom selbst die Fahrzeuge hin- und herbewegte. Oberhalb der zu vertiefenden Stelle wurde zuerst, wie Fig. 207. zeigt, ein Anker ausgebracht, an dessen Buoye ein Block angesteckt war, in welches ein starkes Tau von 60 Faden Länge eingezogen wurde. An jedem Ende dieses Taues war ein Lichter-Fahrzeug (Ever) von 48 Fufs Länge und 12 Fufs Breite befestigt. Derjenige Ever, der stromab trieb, schleppte den Kratz-Apparat hinter sich und wurde quer gegen den Strom gehalten, während er zur Verstärkung des Wasserdrucks noch mit ausgesetzten Brettern versehn war. Der zweite Ever dagegen, der heraufgezogen werden sollte, war stromaufwärts gerichtet, und den Kratz-Apparat wie auch die Bretter hatte man an demselben ausgehoben. Hierdurch erhielt der erste hinreichendes Uebergewicht, um den zweiten heraufzuziehn. Indem die beiden Ever abwechselnd dem verstärkten Stofs ausgesetzt wur-

---

*) *Architecture hydraulique.* Vol. IV. Seite 336.

**) Erbkam's Zeitschrift für das Bauwesen 1865. Seite 110.

***) Beiträge zur Schiffbarmachung der Flüsse. S. 129.

den, so zogen sie sich gegenseitig von selbst hin und her. Zum Auflockern des Grundes dienten sogenannte Such-Dragger, wie solche zum Herausbringen versunkner Gegenstände benutzt werden. Sie bestehn aus eisernen Stielen, die mit einer grofsen Anzahl starker Haken besetzt sind. Sie hatten die Länge von 5 Fufs, und an jedem Ende jedes der beiden Fahrzeuge war ein solcher befestigt.

Eine zweite Methode, die Woltman in derselben Zeit versuchte, bestand darin, dafs nach Figur 208. ein etwas gröfseres Fahrzeug (eine Schute) von 60 Fufs Länge und 14 Fufs 6 Zoll Breite, wie eine fliegende Brücke oder Gier-Ponte an einem langen Tau, das man bis 100 Faden auslaufen liefs, vor Anker lag. An dieses Tau war ein zweites angesteckt, dessen beide Enden am Schiffe vorn und hinten befestigt waren. Je nachdem man eins derselben anzog und das andre nachliefs, konnte man der Schute eine beliebige Richtung gegen den Strom geben, und dadurch ihre Bewegung reguliren. War das Vordertheil stromaufwärts gegen das rechte Ufer gerichtet, so stiefs das Wasser sie gleichfalls nach der rechten Seite, und bei entgegengesetzter Richtung nach der linken. An jedem Ende des Fahrzeugs hing wieder ein Such-Dragger, und beide wurden über die zu vertiefende Stelle hin- und hergezogen. Man konnte in diesem Fall recht schwere und sonach besonders wirksame Dragger anwenden, wenn man das Fahrzeug stark belastete, und es überdies mit Schwerdtern versah.

Diese letzte Anordnung, wobei ein einzelnes Fahrzeug quer durch den Strom hin und her fuhr, oder vor dem Ankertau gierte, zeigte sich wirksamer, als die erste. Dagegen hatte man bei Benutzung der zwei Fahrzeuge den Vortheil, dafs die vertiefte Rinne sich gleich durch die ganze Länge der Untiefe erstreckte, und daher früher benutzt werden konnte.

Das gelöste Material bestand aus reinem Sande, und derselbe wurde bei Anwendung beider Methoden augenscheinlich fortgetrieben, sobald die Geschwindigkeit des Stroms 2 Fufs oder wenigstens 1 Fufs 6 Zoll betrug. Die Geschwindigkeit in der untern Elbe ist aber wegen der Fluth sehr verschieden, der Fluthstrom ist hier im Allgemeinen zu schwach, als dafs er zu diesem Zweck benutzt werden könnte, und selbst der Ebbe-Strom hat nur zur Zeit eines reichen Wasserabflusses von oben her die erforderliche Stärke. Dieser Umstand war wohl die nächste Veranlassung, dafs man bald

von diesem Verfahren keinen weitern Gebrauch machte und zum Baggern überging. Zehn Jahre später wurde, wie Hübbe erwähnt, in Cuxhaven ein neuer Versuch durch Woltman veranlafst. Diesesmal benutzte man theils Eggen mit eisernen Zinken, theils lange Besen, der Erfolg zeigte sich aber wieder nur ungenügend.

Aehnliche Versuche sind verschiedentlich in der Nähe von Pillau angestellt worden. Da ich diese zum Theil selbst ausgeführt habe, so will ich sie speciell beschreiben. Sie wurden in dem Seegatt gemacht, das heifst in der tiefsten Rinne auf der Sandbank, welche die See vor der Mündung des Frischen Haffes aufwirft. Es handelte sich daher um die Vertiefung des Fahrwassers für die von See kommenden Schiffe nach dem Hafen. Die Strömung ist hier nach Maafsgabe des Windes, der den Spiegel der See bald senkt bald hebt, abwechselnd ausgehend und eingehend. Die Zuflüsse zum Haff, nämlich die Nogat, der Pregel und mehrere kleinere Flüsse wirken im Sommer hierauf wenig ein, doch bilden sie im Frühjahr, wenn sie angeschwollen sind, gemeinhin einen kräftigen und mehrere Tage hindurch anhaltenden ausgehenden Strom.

Im Frühjahr 1828 hatte das Seegatt, das in der letzten Zeit 12 Fufs tief gewesen war, sich bis auf 10 Fufs verflacht. Um möglichst schnell Hülfe zu schaffen, wurde das Aufkratzen in Vorschlag gebracht, das in dieser Jahreszeit während des stärkeren Stromes einigen Erfolg versprach. Die nächste Veranlassung zu diesem Vorschlage lag in einem frühern ähnlichen Versuche, der angeblich sehr günstig gewirkt hatte. Im Anfange des Jahres 1800 war nämlich die Rinne in der Bank, oder das Gatt, beinahe ganz geschlossen gewesen. Wasserstands-Beobachtungen wurden damals noch nicht regelmäfsig angestellt, nach mündlichen ziemlich sichern Mittheilungen soll die Tiefe aber nur 6 Fufs betragen haben. Die im Hafen liegenden Schiffe waren daher eingesperrt und der gröfste Theil derselben konnte selbst leer nicht herausgebracht werden. In dieser Verlegenheit versuchten die Schiffer, und zwar zuerst einige Engländer, denen sich bald auch andre anschlossen, das Seegatt zu vertiefen. Sie bemannten ihre Böte, und während dieselben mit dem Strom herabfuhren, schleppten sie Dragger, Ketten, eiserne Stangen u. dergl. hinter sich. Um die Kraft zu vermehren, wurden auch Segel unter Wasser ausgespannt. Nach wenigen Tagen hatte die Tiefe um 2 Fufs zugenommen, und wenn gleich der gröfste

Theil der Ladungen erst auf der Rheede, oder aufserhalb der Bank eingenommen werden mufste, so konnten die Schiffe doch den Hafen verlassen. Wie viel in diesem Fall das Kratzen wirklich genützt haben mag, und was der Strom ohne dasselbe vielleicht selbst gethan haben würde, läfst sich nicht nachweisen.

Die im Jahre 1828 beabsichtigten Versuche führten indessen zu keinem Resultat, da die starke Ausströmung bereits aufgehört hatte, als die Vorbereitungen getroffen waren. Aufserdem hatte die Tiefe des Seegatts schon von selbst nahe um 1 Fufs zugenommen, und somit war für den Augenblick auch das dringendste Bedürfnifs befriedigt.

Im Frühjahr 1829 waren dagegen alle Einrichtungen bereits getroffen, und indem wieder das dringende Bedürfnifs zur Vertiefung eintrat, so wurde nunmehr der Versuch ausgeführt. Das damalige Seegatt, welches eine sehr südliche Richtung angenommen hatte, war, wenn seine Tiefe auch noch über 11 Fufs betrug, doch höchst ungünstig für die Schiffahrt gelegen, indem es sich in einem scharfen Bogen durch die Bank zog, und stellenweise überaus enge war. Dagegen war schon ein zweites Seegatt, nördlich von jenem, in der Ausbildung begriffen. Beim Aufgange des Eises in der Mitte April war dieses nur 8 Fufs tief, Ende April hatte seine Tiefe bereits bis 10 Fufs 6 Zoll zugenommen. Die vollständige Darstellung dieses neuen Gattes war daher die Aufgabe, die durch Auflockern des Grundes gelöst werden sollte.

Der Theil des neuen Seegatts, welcher bei mittlerem Wasserstande noch nicht 12 Fufs Tiefe hatte, war 25 Ruthen lang, und darin fanden sich Stellen vor, die noch um 1 Fufs 6 Zoll vertieft werden mufsten. Der Grund bestand, wie überall in dieser Gegend, aus einem ganz rein ausgewaschnen, sehr grobkörnigen Quarz-Sande.

Die frühere Methode, wonach die Kratzen an Böte gehängt und vom Strom herabgezogen wurden, schien mir weniger passend, als wenn ich sie durch Menschenkraft an bestimmten Stellen bewegen liefs. Ich erreichte dadurch den Vortheil, dafs ich die Arbeit auf diejenigen Stellen beschränken konnte, wo es besonders an Tiefe fehlte, aufserdem wäre eine bedeutende Mannschaft zum Besetzen der Böte und zum Zurückbringen derselben, namentlich wenn plötzlich Wellenschlag eintreten sollte, nothwendig gewesen, und deshalb

hielt ich es für vortheilhafter, durch Arbeiter die Maschine bewegen zu lassen. Auf solche Weise hoffte ich auch die kurze Dauer des stärkern Stroms am besten benutzen, und selbst während der Nacht die Arbeit fortsetzen zu können. Endlich aber wünschte ich auch, mich bald von dem Erfolg zu überzeugen, was doch nur möglich war, wenn eine Stelle nach der andern angegriffen wurde. Das ganze Unternehmen sollte nur ein Versuch sein, ich hatte auch keineswegs die sichre Ueberzeugung, dafs derselbe gelingen würde, daher mufste ich dafür sorgen, dafs er im Falle des Mifsglückens nicht zu kostbar ausfiel, und dieses würde einerseits geschehn sein, wenn man erst nach langer Fortsetzung der Arbeit über deren Resultat ein sichres Urtheil gehabt hätte, andrerseits auch, wenn die benutzten Apparate grofse Anlagekosten verursacht hätten. Letztere mufsten daher möglichst aus dem vorhandnen Hafenbau-Inventarium zusammengesetzt werden.

Ich wählte die Fig. 209. dargestellte Anordnung. Ein eiserner Rechen, 3 Fufs breit und eben so hoch, etwas über 60 Pfund schwer, war, wie Fig. 209. *b* zeigt, an einen starken hölzernen Stiel befestigt, mit welchem er geführt wurde. An jeder Seite des mittlern Riegels befanden sich zwei Ringe. In diese waren Leinen geknüpft, die sowohl vorn als hinten an ein starkes Zugtau befestigt waren. An dem letztern wurde der Rechen vor- und zurückgezogen, und zwar so, dafs er, ohne zu drehn, sich immer normal gegen seine Fläche bewegte.

Das Fahrzeug, auf welchem die Arbeit vorgenommen wurde, Fig. 209. *a*, war ein starkes Seeboot, 42 Fufs lang und 19 Fufs breit und in der Mitte 7 Fufs hoch. Dasselbe war nach dem Muster der Ballast-Lichter oder der Baggerböte auf der Themse gebaut. Es war auch mit der dazu gehörigen Windevorrichtung versehn, die im vorliegenden Fall sehr passend benutzt werden konnte. Die Räumlichkeit war genügend, um bis 20 Mann darin unterzubringen.

In der Längenrichtung des Bootes wurden zwei starke Bäume befestigt, die vorn und hinten etwa 20 Fufs weit darüber vortraten. Sie trugen an ihren Enden Blöcke, durch welche die Taue von dem Rechen geschoren waren. Die Enden dieser Taue waren mit einander verbunden und dreimal um die Trommel der Windevorrichtung geschlungen. Wenn die Kurbel in einer Richtung ge-

dreht wurde, bewegte sich daher der Rechen vorwärts, und er ging zurück, sobald man die Kurbel zurückdrehte. Die Kurbel war ursprünglich so eingerichtet, dafs nur zwei oder höchstens drei Mann daran arbeiten konnten. Dieses genügte aber nicht, ich befestigte daher an dem Kurbelbuge statt des gewöhnlichen kurzen Handgriffs eine Stange, deren andres Ende an der gegenüber liegenden Seite des Schiffes, und zwar in der Verlängerung der Achse des Getriebes befestigt war. Auf diese Weise erhielt die Handhabe der Kurbel eine sehr grofse Länge, doch mufsten die sechs Arbeiter, die sie drehten, sich immer möglichst nahe an die Kurbel stellen, da die Stange bei der Drehung eine conische Fläche beschrieb, und daher ihre Bewegung in der Nähe der Spitze des Kegels sehr geringe wurde.

Wäre das Boot nur vor einen Anker gelegt worden, so würde der Rechen einen festen Stützpunkt gebildet haben, und das Boot selbst hätte, soweit der Anker es erlaubte, sich hin- und herbewegt, ohne dafs der Rechen über den Grund gezogen wäre. Hiernach mufste ein zweiter Anker am hintern Ende des Bootes angebracht werden, und zwar zeigte sich bald, dafs recht schwere Anker erforderlich waren, weil der Widerstand, den der Rechen in seiner Bewegung fand, so grofs war, dafs die gewöhnlichen Anker dieses Bootes dasselbe nicht hielten. Endlich mufsten die Ankertaue immer scharf angeholt werden, weil sonst das Boot schon merklich dem Rechen entgegenkam und letzterer nicht weit genug gezogen werden konnte. Aller Vorsicht unerachtet, war es indessen unmöglich, das Boot ganz fest zu halten, es nahm wenigstens jedesmal, wenn der Rechen seine Bewegung änderte, eine andre Richtung an, oder drehte sich etwas. Dieser Umstand hatte indessen den günstigen Erfolg, dafs das Boot fortwährend, soviel die Anker erlaubten, nach der linken oder der rechten Seite gierte, und dadurch die ausgetiefte Rinne die Breite von einigen Ruthen annahm.

Aufser den sechs Mann an der Kurbel war ein siebenter mit der Führung des Rechens beschäftigt, er mufste dafür sorgen, dafs der Stiel desselben immer nahe lothrecht blieb, auch gab er den übrigen Arbeitern das Zeichen, wenn sie in entgegengesetzter Richtung die Kurbel drehn sollten. Der Stiel des Rechens wurde etwa 24 Fufs weit hin und her zur Seite des Bootes geführt, und diese Länge stimmte nahe mit der des Weges überein, den der Rechen

selbst machte. Die Dauer eines Hin- und Rückganges betrug etwa eine Minute. An dem Stiel des Rechens war eine Marke angebracht, welche die erforderliche Wassertiefe bezeichnete. Der Arbeiter konnte sich daher selbst davon überzeugen, wie viel auf jeder Stelle noch fehlte. Wenn der Rechen scharf herabgedrückt wurde, so nahm der Widerstand in solchem Maafse zu, dafs die Arbeiter an der Kurbel nur mit der gröfsten Anstrengung die Drehung fortsetzen konnten. Hierbei war der Erfolg aber keineswegs am gröfsten, er zeigte sich vielmehr weit bedeutender, wenn der Rechen nur mit seinem eignen Gewicht auf den Grund drückte, und noch schnell und leicht fortgezogen werden konnte.

Endlich mufs bemerkt werden, dafs die Mittellinie der darzustellenden Rinne auf dem Ufer durch zwei hohe Signale scharf markirt war, und die Anker immer in dieser Linie ausgesetzt wurden, woher auch das Boot in derselben blieb und sich beim Gieren nur wenig und zwar gleichmäfsig nach beiden Seiten davon entfernte.

Die westlichen Winde, die an der Stelle, wo gearbeitet werden sollte, einen heftigen Wellenschlag verursachen, und aufserdem die Strömung mäfsigen, hörten gegen Ende April auf. Bei stark auslaufendem Strom ging daher das Boot den 28. April Morgens heraus und wurde über dem höchsten Rücken der Bank in der Richtung der ausgesteckten Linie festgelegt. Die Geschwindigkeit des Stroms betrug 2 Fufs 9 Zoll in der Sekunde. Die Arbeit wurde sogleich begonnen, und ohne Unterbrechung den ganzen Tag hindurch fortgesetzt, indem in Ablösungen gearbeitet wurde und doppelte Mannschaft an Bord war. Für das Anziehn der Ankertaue und andre Arbeiten mufste aber immer der Theil der Mannschaft sorgen, der an der Winde nicht beschäftigt wurde.

Der Erfolg war weit gröfser, als ich erwartet hatte. In Zeit von einer Stunde war die Bank an der Stelle, wo man arbeitete, um mehr als einen Fufs gesenkt, und die Vertiefung erstreckte sich auf einen Raum von etwa 3 Ruthen Breite (so weit gierte das Boot) und von 2 Ruthen Länge. Ich liefs hierauf das Boot vor denselben Ankern 2 Ruthen stromabwärts verlegen, und die Arbeit wurde hier fortgesetzt, um die Rinne zu verlängern. Bei dem starken ausgehenden Strom, der den ganzen Tag anhielt, hatte die Arbeit einen sehr guten Fortgang. Unglücklicher Weise besorgte aber der Aufseher, den ich Abends an Bord liefs, dafs der Wind, der schon

im Laufe des Tages wieder nach Westen gegangen war, an Stärke zunehmen möchte, und segelte daher am andern Morgen in den Hafen zurück.

Die Witterung blieb zunächst so günstig, dafs die Arbeit unbedenklich hätte fortgesetzt werden können. Es erschien jedoch nicht räthlich, das Boot wieder herauszubringen, da verschiedne Anzeichen darauf hindeuteten, dafs der Wind bald heftiger werden, und die Fortsetzung der Arbeit unmöglich machen würde. In den folgenden Tagen war der Wind in der That bedeutend stärker geworden.

Am 30. April wurde das Seegatt untersucht. Die vertiefte Stelle gab sich sehr auffallend zu erkennen, und die Rinne hatte ganz entschieden den Strom aufgenommen, und in der Breite wie in der Länge sich ausgedehnt.

Am 4. Mai konnte endlich die Arbeit wieder begonnen werden. An diesem Tage wurde der stromaufwärts gekehrte oder östliche Theil der Bank angegriffen, und obwohl die Strömung schon etwas mäfsiger geworden war, so ging die Vertiefung dennoch ganz nach Wunsch von Statten. Abends stellte sich, ohne dafs der Wind besonders heftig gewesen wäre, Wellenschlag ein, der besonders auf der Bank, wo das Boot lag, so heftig wurde, dafs man zurückkehren mufste.

Am 6. Mai wurde die Witterung wieder günstig und am 7ten ging das Boot bei Tagesanbruch heraus. Durch die ganze Bank hatte sich bereits eine regelmäfsige, weite und tiefe Rinne gebildet. Die Tiefe betrug grofsentheils 12 Fufs, nur am äufsern und innern Rande der Bank war sie etwa 1 Fufs geringer, einzelne Stellen in der Mitte bedurften auch noch der Nachhülfe. Da der Strom jetzt schon viel schwächer geworden war, und nur noch die Geschwinkeit von 1 Fufs 10 Zoll in der Sekunde hatte, so durfte man die frühern auffallenden Erfolge nicht erwarten. Aufserdem aber hörte der starke Erguſs der Nogat bereits auf, und sonach mufste der aus dem Haff kommende Strom sich in Kurzem noch mehr vermindern. Ein ferneres Aussetzen der Arbeit erschien daher ganz unzulässig.

Ich liefs das Boot zuerst an die innere, oder stromaufwärts gekehrte Seite der Bank legen, und hier die Arbeit beginnen. Der Erfolg des Kratzens stellte sich nur langsam ein, war aber den-

noch nicht zu verkennen. Um eine Unterbrechung während der Nacht zu umgehn, bestellte ich noch eine dritte Ablösung der Mannschaft. Auf diese Weise wurde bis zum 8ten Abends die Arbeit ununterbrochen fortgesetzt. Die starke Mannschaft, die ich an Bord hatte, konnte, ohne Störung zu verursachen, selbst die Anker verlegen. Dieses geschah, indem ein dritter Anker zuerst ausgebracht, und hieran das Boot befestigt wurde, bevor man einen der ersten lichtete.

Am 8. Mai gegen Abend war das äufsere Ende der Bank erreicht, und das neue Fahrwasser, das genau in der gewählten Richtung lag, hatte auf den mittlern Wasserstand von 7 Fufs 8 Zoll am Pegel reducirt, durchweg die Tiefe von 12 Fufs. Es war also trotz der ungünstigen Witterungs-Verhältnisse, welche die gehörige Benutzung des stärksten Stroms verhindert hatten, dennoch Alles erreicht, was man erwarten durfte. Von manchen Seiten wurde freilich, wie immer zu geschehn pflegt, der Zweifel erhoben, ob dieses Resultat die Folge der Auflockerung des Grundes, oder vielleicht nur die natürliche Wirkung des Stroms gewesen sei, und man mufs wohl unbedingt zugeben, dafs wahrscheinlich der Strom auch ohne diese Auflockerung gerade an derselben Stelle sich die Rinne eröffnet haben würde, weil die Richtung, in welcher die Arbeit vorgenommen wurde, eben mit Rücksicht auf den tiefen Schlauch ausgesucht war, der sich schon vorher bis gegen die Bank hinzog. Meines Erachtens ist indessen die starke Vertiefung, die während der Auflockerung eintrat, ein sichrer Beweis für den Nutzen dieser Arbeit. In dem nächsten Jahre war keine Veranlassung zur Wiederholung dieses Versuchs, auch ist ein solcher seitdem nicht wieder gemacht worden.

Man hat gewifs schon vielfach versucht, in ähnlicher Weise, wie eben beschrieben, Rechen oder andre Vorrichtungen zum Aufkratzen des Grundes nicht durch den Strom, sondern durch Menschenkraft in Bewegung zu setzen. Belidor theilt einige hierher gehörige Vorschläge mit *), wobei nur der Unterschied stattfindet, dafs eine sehr geringe Wassertiefe von 1 oder höchstens 2 Fufs vorausgesetzt ist, und sonach Pferde unmittelbar den Apparat ziehn können. Letzterer sollte nach diesen Vorschlägen entweder in ei-

*) *Architecture hydraulique.* Vol. IV. Seite 336.

nem Pfluge bestehn, dem gewöhnlichen Pfluge nicht unähnlich, oder in einem Rechen, dessen Einsenkung von einem Arbeiter regulirt wird, der in einem angehängten Nachen steht. Im letzten Falle kann die Auflockerung nur erfolgen, während der Nachen gegen den Strom fährt, weil er sonst seine Stellung nicht behalten würde. Hierbei mag noch erwähnt werden, dafs Belidor gleichzeitig ein Mittel bezeichnet, wodurch der feste Thonboden, der von allen Kratzen nur wenig angegriffen wird, der Einwirkung des Stroms ausgesetzt werden soll. Dieses Mittel besteht darin, dafs in ziemlich geringen Entfernungen Löcher gebohrt werden sollen.

Zur Bewegung der Kratzen hat man in England auch die Dampfkraft benutzt. An der Mündung der Mersey wurden während der Jahre 1839 und 1840 Rechen, woran anfangs nur Ketten hingen, die später aber mit Zinken versehn wurden, durch kräftige Dampfböte über die Barre gezogen, dabei war die Vorrichtung angebracht, dafs die Kratz-Apparate nur bis zu einer gewissen Tiefe herabsinken konnten, und sonach ihre Wirksamkeit aufhörte, sobald sie an eine Stelle kamen, wo hinreichende Tiefe bereits vorhanden war. Das Fahrwasser vertiefte sich während der Operation sehr bedeutend, aber auch hier entstand nach Hübbe's Mittheilung der Zweifel, ob das Kratzen dazu wesentlich beigetragen habe, oder der Strom gerade in dieser Zeit sein Bette von selbst ausgebildet hatte. In einem Vortrage, der in der British Association über dieses Unternehmen gehalten wurde, wird die eingetretne Vertiefung unbedingt als Folge der Auflockerung des Grundes bezeichnet. *) Ein ähnlicher auf der Clyde unterhalb Glasgow angestellter Versuch soll kein Resultat gegeben haben, und dasselbe scheint auch auf dem Aa-Strom bei Groeningen der Fall gewesen zu sein. Hier benutzte man das zu diesem Behuf eingerichtete, mit eigenthümlichen Schwerdtern und einem Segel unter Wasser versehne Fahrzeug nur kurze Zeit hindurch, und ging bald zum Sielpflug wieder über. Dieses Fahrzeug trug übrigens den Rechen oder die Kratze an zwei Krahnbalken, die über den Spiegel herausreichten, woher die Wirkung sich wieder auf diejenigen untiefen Stellen beschränkte, wo die Schiffahrt behindert war. Der Grund

*) *Civil Engineer and Architect's Journal.* Vol. II. p. 421.

des Mifslingens im letzten Falle ist wohl in der geringern Geschwindigkeit des Wassers zu suchen, die nur 6 Zoll bis 1 Fufs betrug. *)

Zur Beseitigung der Barren im untern Theil des Missisippi hat man halbcylindrische Schaufeln aus starkem Eisenblech angewendet, die keinen Boden haben und die Oberfläche der Untiefe horizontal durchschneiden. 4 bis 5 solcher Schaufeln von etwa 3 Fufs Durchmesser sind neben einander an dem Fufsbalken eines starken dreiseitigen Rahmens befestigt, der am Ende eines Dampfbootes hängt, und über die zu vertiefende Fläche gezogen wird. **)

An der Weser war seit langer Zeit eine sehr einfache Kratzmaschine, der sogenannte Pflug im Gebrauch, den Fig. 210. zeigt. An einem Balken aus schwachem Kreuzholz von etwa 10 Fufs Länge sind im Abstande von 6 Zoll eiserne Zinken von 9 Zoll Höhe angebracht. An der obern Seite des Balkens befinden sich zwei hölzerne Stiele von etwa 6 Fufs Länge. An jedem Ende ist der Balken mit einem Ringe versehn, und in diese sind zwei Taue befestigt, die sich in geringem Abstande vereinigen und hieran wird der Pflug fortgezogen. Eine Eigenthümlichkeit im Gebrauch dieses Apparats liegt darin, dafs er weder mit dem Strom, noch gegen denselben, sondern quer durch das Fahrwasser bewegt wird. Man will nämlich nicht die Beseitigung des sämmtlichen gelösten Materials dem Strom überlassen, vielmehr sollen die gröbern Geschiebe an die Seite, auch wohl auf das Ufer geschafft werden, während der feinere Kies und Sand fortgespült wird. Aufserdem gewährt diese Art der Bewegung noch den Vortheil, dafs die Menschen oder die Zugthiere, die den Pflug bewegen, am Ufer oder wenigstens im seichten Wasser bleiben. Zuweilen läfst man den Pflug unmittelbar durch Menschen ziehn. Besonders geschieht dieses, wenn es nur darauf ankommt, auf kurzen Strecken eine geringe Vertiefung zu veranlassen, die Arbeit also nicht bedeutend genug ist, um gröfsere Anstalten zu treffen. In diesem Fall hat der Pflug auch nur geringere Dimensionen, und oft brauchten die Schiffer ihn sogar selbst, wenn sie eine untiefe Stelle fanden. Be-

*) Crelle's Journal für die Baukunst. Band 18, Seite 90.

**) Zeitschrift des Hannoverschen Architecten- und Ingenieur-Vereins. 1871. Seite 430.

deutend gröfser ist der Erfolg, wenn Pferde oder Ochsen vorgespannt werden, und am vortheilhaftesten dürfte es sein, wie auch zuweilen geschah, eine Erdwinde auf dem Ufer aufzustellen und durch diese den Pflug durch das Fahrwasser zu ziehn.

Hinter dem Pflug gehn gemeinhin vier Arbeiter, die ihn theils an den erwähnten Stielen in senkrechter Stellung halten, theils aber auch, und namentlich wenn der Kies festgelagert ist, auf den Balken treten, und dadurch das Eingreifen der Zinken befördern. Dieses kräftige Eingreifen ist aber bei dem Pfluge von grofser Wichtigkeit, insofern man jede einmalige Bewegung möglichst wirksam machen mufs, weil das Zurückführen des Pfluges vor dem Beginn eines neuen Zuges sehr mühsam und zeitraubend ist. Dieselben Arbeiter, welche dem Pfluge folgen, müssen ihn auch zurücktragen. Sie bleiben also immer im tiefern Wasser, und dieser Umstand beschränkt die Anwendbarkeit des Apparats aufserordentlich, denn theils kann er vor dem Eintritt des kleinen Wassers nicht benutzt werden, theils aber können die Arbeiter, ohne ihrer Gesundheit zu schaden, auch nur in den Sommermonaten mehrere Stunden und selbst ganze Tage hindurch im Wasser stehn.

Der Erfolg des Pflügens ist nach der vieljährigen Benutzung desselben als sicher anzusehn. Die Untiefen werden dadurch in kurzer Zeit, und mit geringern Kosten, als durch Baggern beseitigt. Ein Uebelstand in seinem Gebrauch liegt aber darin, dafs gemeinhin an derjenigen Seite, von wo der Zug ausgeübt wird, neben dem Fahrwasser ein Kiesrücken sich bildet, der nicht selten über Wasser tritt, und für die Stromregulirung um so nachtheiliger ist, als er vorzugsweise aus dem gröbsten Geschiebe besteht, das zwischen den Zinken nicht hindurchdringen konnte, das aber auch vom Strom nicht leicht fortgetrieben wird. Es ist hiernach nöthig, diesen Rücken, nachdem das Fahrwasser aufgeräumt ist, wenigstens so weit zu beseitigen, als dieses durch Abgraben möglich ist. Vortheilhafter wäre es noch, und zugleich würde dadurch der baldigen Verfüllung der vertieften Rinne vorgebeugt werden, wenn man durch ferneres Pflügen das herausgebrachte Material näher an das Ufer zöge, und der Sohle des Strombetts eine regelmäfsige Abdachung bis zum Fahrwasser gäbe.

Es bleibt noch der Apparat zu beschreiben, der unter allen ähnlichen am häufigsten Anwendung gefunden hat und am längsten

im Gebrauch ist, über dessen Wirksamkeit man auch am wenigsten zweifelhaft sein kann. Dieses ist die Verbindung einer sehr vollständigen Stau-Vorrichtung, wodurch das ganze Profil des Flusses umfafst wird, mit einem Rechen, der den Grund angreift. Dieser Apparat ist seit langer Zeit in den kleinern Norddeutschen und Holländischen Häfen mit unverkennbarem Erfolg benutzt worden. Man nennt ihn den Siel-Pflug, und er dient zur Erhaltung der Tiefe in den Siel-Tiefen, das heifst in den Kanälen, welche die Siele oder Entwässerungs-Schleusen mit dem eigentlichen Strombett oder mit der See verbinden. Die Siele, welche immer in den Deichen liegen, haben häufig so grofse Dimensionen, dafs kleinere Küsten-Fahrzeuge mit niedergelegten Masten hindurchgehn können. Dieses darf aber nicht zur Zeit des Hochwassers geschehn, weil dadurch das Binnenland in Gefahr kommen könnte, die Schiffahrt ist vielmehr nur eröffnet, wenn das Wasser nahe den niedrigsten Stand erreicht hat. Die Sieltiefe werden aber zur Zeit des Hochwassers, sobald der Aufsendeich unter Wasser steht, in der Quere überströmt und verschlicken daher sehr schnell. Man mufs aus diesem Grunde gemeinhin noch auf andre Weise für ihre Offenerhaltung sorgen. Dieses geschieht theils durch gewöhnliches Spülen, indem beim niedrigsten Wasser der Ebbe das Binnenwasser durch das Seiltief abgelassen wird, theils aber kommt man der Wirkung des Stroms noch dadurch zu Hülfe, dafs man den Siel-Pflug benutzt. Dieses geschah früher auch in gröfsern Häfen. So wurde beispielsweise in der Mündung der Geeste oder im Vorhafen des ältern Docks von Bremerhaven der Siel-Pflug mit günstigem Erfolg angewendet, und wenn man ihn in der neusten Zeit daselbst nicht mehr benutzt, so hat dieses nur darin seinen Grund, dafs dem Hafen beim Spülen des Kanals eine grofse Wassermenge entzogen wird, die zur Zeit der nächsten Fluth aus der Weser durch trübes Wasser wieder ersetzt werden mufs.

Mit manchen Abänderungen hat man den Siel-Pflug später auch zur Vertiefung von binnenländischen Flufsbetten und Kanälen mit Vortheil benutzt, und namentlich ist dieses in Frankreich und England geschehn. Der in Frankreich in der Nähe von Rochefort benutzte Apparat hat sich nach den Mittheilungen des Ingenieur Masquelez*)

---

*) *Annales des ponts et chaussées* 1832, *I. p.* 376.

überaus wirksam gezeigt, woher ich denselben zunächst beschreiben will. Er wurde zur Aufräumung der beiden Kanäle von Brouage und von Charras und des Hafens von Brouage angewendet. Die beiden benannten Kanäle dienen hauptsächlich zur Entwässerung der dortigen Niederungen, werden jedoch auch gleichzeitig zur Schifffahrt benutzt, und mit Hülfe der Schleusen kann man bei dem starken Wechsel des Wasserstandes in Folge der täglichen Fluth eine hinreichend starke Strömung darin erzeugen. Der erste Kanal verbindet die Charente mit dem Hafen von Brouage und ist etwa $2\frac{2}{3}$ Meilen lang, der zweite verbindet die Gere mit der Charente ohnfern der Mündung der letztern, und seine Länge beträgt etwas über $1\frac{1}{2}$ Meilen.

Nach mehrfachen Abänderungen, die sich beim Gebrauch als nöthig herausgestellt hatten, wurde die in Fig. 211. auf Taf. XXVI. dargestellte Einrichtung gewählt. Der Rechen hängt am hintern Ende eines Prahms, und ist nach Maafsgabe der Dimensionen des Kanal-Profils, so wie der Schleusen und Brücken, 16 Fufs breit und etwas über 6 Fufs hoch. Die Länge des Prahms mufste auf 29 Fufs beschränkt werden, um ihn überall im Kanal wenden zu können. Der mittlere Theil des Rechens oder der Stauwand ist gleichfalls 16 Fufs lang, da diese Länge aber nicht zur Schliefsung des Kanal-Profils genügt, so sind an den Seiten noch Flügel angebracht, deren jeder sich um eine vertikale Achse auf den Haken *A* dreht, die in Fig. 211. *d* sichtbar sind. Durch diese ersten Flügel erhält die Stauwand eine solche Ausdehnung, dafs sie das Profil an den engsten Stellen schliefst. Um aber an allen Stellen, wie verschieden das Profil auch sein mag, dasselbe immer möglichst vollständig zu schliefsen, so befinden sich an jedem der erwähnten Flügel noch drei andre, die sich um schräge Achsen mittelst Charnieren drehn, und die bald mehr bald weniger sich von selbst ausbreiten oder einziehn, und dadurch jedes Profil ungefähr darstellen.

Der mittlere Theil der Stauwand, an dessen unterm Rande 3 Zoll hohe eiserne Zinken befestigt sind, besteht zunächst aus zwei hochkantig über einander stehenden Halbhölzern von $5\frac{1}{2}$ Zoll Stärke. In die obere Bohle sind sieben Stiele eingezapft, die oben durch ein Rahmstück verbunden sind. Zur Verbindung der Bohlen unter sich und mit den Stielen dienen die aufgenagelten eisernen Bänder, welche die Figuren zeigen. Die vier Oeffnungen zwischen den mitt-

lern fünf Stielen werden durch eben so viele Schütze geschlossen, die nur in dem Fall gezogen werden, wenn das gelöste Material sich vor dem Rechen stark angehäuft hat, was jedoch bei gehöriger Vorsicht nicht geschieht.

An jeder Seite des Prahms tritt ein starker Krahnbalken vor, der an seinem Ende zwischen hochkantigen Schienen (Fig. 211. *d*, *e* und *f*) zwei Scheiben und aufserdem eine Leitrolle trägt. Zwei andre Scheiben sind an jeder Seite über den obern Bohlen der Stauwand befestigt, und bilden in Verbindung mit den obern Scheiben zwei Flaschenzüge, woran die Stauwand hängt. Die Enden der darin eingezognen Taue sind in gleicher Richtung über eine Erdwinde geschlungen, die auf dem Prahm steht. Beim Umdrehn der Erdwinde ziehn daher beide Flaschenzüge gleichmäfsig an, wodurch die Wand gehoben oder gesenkt wird.

Die erwähnten Leitrollen, gegen welche sich die beiden äussern Stiele lehnen, halten die Wand zurück, und verhindern sie, sich vom Prahm zu entfernen. Hierdurch ist ihre lothrechte Stellung aber noch keineswegs gesichert, denn sie behält dabei noch die Freiheit, sich so zu neigen, dafs ihr oberes Ende auf den Prahm fallen könnte. Dieses wird durch zwei Rahmen verhindert, die sich um vertikale Achsen drehn und sich an zwei Mittelstiele der Stauwand lehnen. Endlich wird die Stauwand noch durch vier Taue (Fig. 211. *a*) gehalten. Soll die Stauwand aus dem Wasser gehoben werden, was jedesmal geschehn mufs, bevor der Prahm stromaufwärts gezogen wird, so geschieht dieses zunächst mittelst der Erdwinde, bis die Wand eine solche Höhe erreicht hat, dafs sie nur noch wenig in das Wasser eintaucht. Alsdann dreht man die beiden beweglichen Rahmen zurück, und läfst die Wand, indem man die obern Taue anzieht, und die untern nachläfst, auf den Prahm fallen. Die Flügel werden in diesem Fall schon vorher auf die Wand zurückgeschlagen.

Will man von der Maschine Gebrauch machen, so darf dieselbe keineswegs sogleich am obern Ende des Kanals in Thätigkeit gesetzt werden, weil alsdann dasjenige Material, das sie zunächst löst, über alle untiefen Stellen, die sich weiter abwärts vorfinden, fortgeschafft werden müfste. Man fängt daher die Aufräumung etwa eine halbe Meile oberhalb der Ausmündung an, und nachdem die unterste Strecke gereinigt ist, beginnt man die Arbeit eine halbe

Meile weiter aufwärts, und so fort, indem man jedesmal das gelöste Material bis in die See herabschiebt. Eine andre Vorsicht, die nicht versäumt werden darf, besteht darin, dafs die Wasserpflanzen, welche in der ganzen Ausdehnung der Kanäle sehr üppig zu wachsen pflegen, zuvor geschnitten und beseitigt werden müssen.

Sobald der Prahm an der Stelle ist, wo mit der Aufräumung der Anfang gemacht werden soll, bringt man ihn in die passende Richtung, und indem er an beiden Ufern befestigt ist, stellt man die Wand auf, breitet die Flügel aus, und läfst den Rechen 4 bis 6 Zoll tief in den Grund eingreifen. Die Zeit der Arbeit mufs so gewählt sein, dafs durch Oeffnen der Schleusen ein kräftiger Strom entsteht. In Folge desselben erhebt sich das Wasser vor der Stauwand, und nachdem die Niveau-Differenz zwischen Ober- und Unterwasser auf 4½ bis 6 Zoll angewachsen ist, setzt sich der Prahm von selbst in Bewegung. Der Rechen löst aber immer neues Material vom Grunde und treibt die ganze gelöste Masse vor sich nach der See. Dieses Material besteht hier vorzugsweise aus Moor-Erde. Es münden jedoch seitwärts mehrere Bäche ein, die Kies und Sand führen, und beim Verladen der Bruchsteine vor den Steinbrüchen daneben fallen häufig Steine von 4 bis 6 Centner Gewicht in den Kanal, die durch den Rechen gleichfalls gehoben und fortgetrieben werden müssen.

Die Räumung erfolgt sehr sicher und regelmäfsig, wenn man dafür sorgt, dafs der Prahm ohne Aufenthalt fortrückt. Kommt er zufällig zum Stillstande, und kann er nicht sogleich wieder in Bewegung gesetzt werden, so sinkt die ganze bereits gelöste Erdmasse nieder und lagert sich sehr schnell so fest, dafs man sie nur nach und nach wieder in Bewegung setzen kann. Dieses geschieht schon, wenn der Prahm auch nur etwa zwei Minuten lang in Ruhe bleibt. Hiernach ist es dringend nöthig, die Maschine nicht zu stark eingreifen zu lassen, und wenn zufälliger Weise ein starker Widerstand sich irgendwo zeigen sollte, sogleich den Rechen zu heben. Aus diesem Grunde darf der Rechen während der Bewegung nicht tiefer als etwa 3 Zoll in den Grund eingreifen, und die Erdwinde mufs fortwährend mit gehöriger Mannschaft besetzt bleiben, damit der Rechen augenblicklich gehoben werden kann, wenn der Prahm in Folge eines zufälligen Widerstandes aufgehalten wird. Damit die gelöste Erdmasse sich nicht zu stark zwischen den Prahm

und den Rechen drängt, ist der Boden des erstern nicht horizontal durchgeführt, sondern hebt sich bedeutend am hintern Ende. Sollte aber dennoch die Erde sich hier zu stark anhäufen, und die Bewegung des Rechens verhindern, so öffnet man die Schütze und erzeugt dadurch einen kräftigen Strom, der die Masse von hier fortspült.

Die Erscheinungen, die bei dem Gebrauch dieses Apparats eintreten, werden als höchst überraschend und fast wunderbar dargestellt. Wenn nämlich der Prahm bereits eine Strecke gegangen ist, und eine bedeutende Erdmasse gelöst hat, so schiebt er diese nicht etwa als leicht flüssigen Schlamm, sondern als dicken und zähen Brei vor sich her, und dieser tritt häufig über die Oberfläche des Wassers heraus, und bietet alsdann den Anblick eines frisch gepflügten Ackers. Diese Masse ist in fortwährender Bewegung, die zuletzt gelöste Erdschicht steigt wie der Holzspahn in einer Hobel neben dem Prahm aufwärts und schiebt sich über die bereits in Bewegung befindliche Masse fort. Am vordern Ende derselben bemerkt man auch eine Art von rotirender Bewegung, wie am Umfange eines rollenden Rades. Die Theile, die oben aufliegen, eilen den andern voran und stürzen vorn in die Tiefe. Diese Masse füllt den Kanal in der Breite und Tiefe vollständig an, und hat oft eine Längen-Ausdehnung von mehr als 300 Fuſs. Am überraschendsten ist es aber, daſs man zu Zeiten selbst schwere Steine auf der Oberfläche und sogar über Wasser vortreten sieht, welche, ihres groſsen Gewichts ungeachtet, an der allgemeinen Bewegung gleichfalls Theil nehmen.

Beim Durchgange durch Brücken darf der Prahm nicht frei vor dem Strom treiben, wobei ein Gegenstoſsen leicht erfolgen könnte, er muſs vielmehr an Tauen sanft herabgelassen werden.

Zum Beweise der groſsen Wirksamkeit dieses Verfahrens führt Masquelez an, daſs die Ausbaggerung des Hafens von Brouage, der nur in einem Sieltief besteht, in früherer Zeit jährlich 43600 Franks kostete, wogegen die Aufräumung mit dem beschriebnen Rechen mit 200 Franks jährlich bestritten wird.

Der Sielpflug, der an der Deutschen und Niederländischen Küste der Nordsee schon viel früher gebräuchlich war, stimmt wesentlich mit dem beschriebenen überein. Ein Prahm trägt gleichfalls am hintern Ende die Stauwand, die wieder aus dem Mittelstück und den Flügeln besteht, die Anzahl der letztern beschränkt

sich aber gemeinhin auf zwei, die sich um lothrechte Achsen drehn. Das Mittelstück, welches unten mit einer Reihe eiserner Zinken von 12 Zoll Höhe versehn ist, kann auf den Prahm zurückgeschlagen werden. Die Schütze, so wie auch die Vorrichtung zum schnellen Heben und Senken der Wand fehlen aber daran gewöhnlich.

Auch in England hat man eine ähnliche Maschine zur Vertiefung und Schiffbarmachung zweier kleinen Flüsse mit Erfolg angewendet. *) Ein Müller in Seaton ohnfern Canterbury in Kent wünschte den Fluſs, der kleine Stour genannt, bis zu seiner Mühle schiffbar zu machen. Der Fluſs war 20 bis 30 Fuſs breit und stellenweise nur 12 Zoll tief, die Entfernung von derjenigen Stelle, bis zu welcher die Schiffe heraufgehn konnten, betrug etwas über eine Deutsche Meile. Das Bett bestand groſsentheils aus Sumpfboden, nur an einzelnen Stellen fand sich Sand und Kies. In den ersten Jahren dieses Jahrhunderts wurde mit einem Sielpflug ein Versuch angestellt, und dieser hatte so guten Erfolg, daſs das Bett sich um 4 Fuſs vertiefte, und in dieser Tiefe erhalten werden konnte, wenn man einmal im Jahre oder auch nur alle zwei Jahre die Aufräumung wiederholte. Der Fluſs hat aber nicht nur die schiffbare Tiefe angenommen, sondern sich auſserdem auch etwas gesenkt, so daſs die anliegenden Sümpfe in fruchtbare Wiesen verwandelt sind. Bei diesem guten Erfolg wurde dasselbe Verfahren auch auf dem groſsen Stour-Fluſs angewendet, woselbst es eben so günstige Resultate gab, wiewohl die Breite 50 bis 60 Fuſs betrug, und die Tiefe von 5 bis 6 Fuſs dargestellt werden muſste.

Der Apparat, der auf dem kleinen Stour benutzt wurde, bestand wieder aus einem Prahm von 30 Fuſs Länge und 11 Fuſs Breite, an dessen hinterm Ende, welches stumpf abgeschnitten ist, der mittlere Theil der Stauwand von 13 Fuſs Breite an zwei gezahnten Stangen hängt. Letztere werden von zwei Getrieben an einer gemeinschaftlichen Achse gefaſst, und sonach kann die Stauwand beliebig gehoben und gesenkt werden. Sie lehnt sich flach gegen die senkrechte Hinterwand des Prahms, und wird durch zwei Ketten, die sie unten, und zwar an beiden Seiten fassen, in der senkrechten Stellung gehalten. Die Stauwand ist in der Mitte 6 Fuſs

*) *Transactions of the Institutions of civil engineers.* Vol. II. London 1838. Seite 181.

hoch, mit Schützvorrichtungen aber nicht versehn. Sie trägt am untern Rande achtzehn breite eiserne Zinken, von 1 Fuſs Länge, die nahe horizontal umgebogen sind, so daſs sie in der Richtung der Bewegung wie eine Reihe von Pflugschaaren vortreten. An jeder Seite dieses Mittelstücks der Stauwand befindet sich ein Flügel von 16 Fuſs Länge. Beide Flügel drehn sich um vertikale Achsen und lehnen sich mit ihren schrägen Enden, während die Maschine in Wirksamkeit ist, gegen die Ufer. Vom Prahm aus tritt aber in dessen Mittellinie ein starker Baum in horizontaler Richtung etwa 18 Fuſs weit über die Stauwand heraus. Derselbe ist durch zwei Seitentaue abgesteift, und beide Flügel können an ihn herangezogen werden, sobald man den Gang der Maschine unterbrechen will.

Ueber die Wirkung des Apparats wird erwähnt, daſs hinter der Stauwand sich ein Stau von 6 bis 12 Zoll bildet, und dieser den Prahn mit der ganzen gelösten Erdmasse vor sich treibt, wenn letztere auch mehrere hundert Yards weit den Kanal vor dem Prahm bereits füllt. Die Erscheinung ist also übereinstimmend mit derjenigen, die man bei Rochefort bemerkt hat. Die Operation beginnt wieder nicht am obern Ende der zu vertiefenden Strecke, vielmehr nur etwa eine Viertelmeile oberhalb der Ausmündung des Flusses, und nachdem dieser Theil gereinigt ist, setzt man die Maschine wieder weiter aufwärts in Bewegung, und so fort, bis man zuletzt den Fluſs in seiner ganzen Länge durchfährt. Diese Aufräumung nimmt 5 bis 6 Tage in Anspruch.

Schlieſslich muſs noch eines sehr wirksamen Verfahrens gedacht werden, dessen man sich, wenn auch nicht zur Vertiefung der Fahrrinnen in Strömen, doch sonst bedient hat, um den Grund so aufzulockern, daſs er mit kräftigen Bagger-Maschinen gehoben werden konnte. Dieses besteht darin, daſs man in die feste, durch Thon gebundne Ablagerung von Steinen und Kies Löcher bohrt, und hierin, wie beim Steinsprengen, Petarden einsetzt, die beim Explodiren die Verbindung der Masse lösen. Bei Ausführung des neuen Winterhafens in Memel ist dieses geschehn, und das dabei beobachtete Verfahren ist im III. Theile dieses Handbuches §. 72. näher beschrieben. Auch bei der Fundirung eines Pfeilers der Brücke über den East-River bei New-York wurde dasselbe Verfahren angewendet, da der Grund so fest abgelagert war, daſs die Baggermaschinen ihn nicht angriffen, derselbe bestand wieder aus Kieseln,

die in Thon gebettet waren. Man umging indessen hier das Bohren, indem man eiserne Pfähle von angemefsner Stärke einrammte. Nach dem Ausziehn derselben blieb das cylindrische Loch offen, so dafs man die Petarde einsetzen konnte. *)

§. 51.
Reinigen des Fahrwassers.

Häufig treten aus der Sohle des Fahrwassers Gegenstände hervor, die weder durch Verstärkung des Stroms, noch durch Baggern oder Auflockern des Grundes beseitigt werden können. Dieses sind grofse Steine, Baumstämme, gesunkene Schiffe u. dergl., auch wohl einzelne vorragende Köpfe des gewachsenen Felsbodens. Diese Gegenstände sind aber sämmtlich für die Schiffahrt höchst gefährlich, da sie eines Theils sehr fest abgelagert und zugleich sehr hart sind, andern Theils sie aber auch ganz steil vorzutreten pflegen, so dafs die Schiffe, namentlich bei der Thalfahrt heftig dagegen stofsen und alsdann meist leck werden und sinken. Wie wichtig ihre Beseitigung auch ist, so sieht man sich doch häufig gezwungen, sie zunächst nur durch daneben gesteckte Stangen oder durch Schwimmer an Ketten zu bezeichnen, damit die Schiffer ihre Lage erkennen und ihnen ausweichen können.

Wie massenhaft Baumstämme in nicht regulirten Strömen zuweilen vorkommen, und wie gefährlich sie den Schiffen sind, ist bereits §. 10. erwähnt worden. So lange das Fahrwasser seine Richtung ändert, pflegen auch in unsern Strömen und Flüssen häufig darin Stämme sich zu zeigen, die bisher vom Sande verdeckt waren, und selbst nach der Stromregulirung geschieht es nicht selten, dafs beim Abbruch der oberhalb, oder vielleicht auch der an den Seitenzuflüssen belegenen Ufer noch Bäume herabstürzen, die streckenweise fortschwimmen und alsdann in der tiefsten Rinne, also im Fahrwasser irgend wo aufgehalten werden und hier theilweise versanden.

In kleinen Flüssen, auf welchen lange Zeit hindurch Holz-

*) Deutsche Bauzeitung 1871. Seite 160.

flösserei in losen Scheiten betrieben ist, finden sich häufig ganze Bänke von versunkenem Scheitholze vor, deren Beseitigung gleichfalls sehr schwierig wird, sobald man diese Flüsse schiffbar machen will. Da jedoch die Holzstücke in diesem Fall nur die Länge von 4 bis 6 Fufs zu haben pflegen, auch von allen Aesten und Wurzeln frei sind, und daher nicht so fest im Sande stecken, so lassen sie sich mit Stangen oder Haken aufbrechen, und lösen sich noch leichter, wenn man zugleich einen starken Strom darüber leitet.

Mit einzelnen losen Steinblöcken oder grofsen Geschieben verhält es sich ähnlich, wie mit Baumstämmen. In manchen Strombetten sind sie in grofser Menge im Sand und Kies vergraben, und bei Veränderungen des Fahrwassers kommen andre zum Vorschein, die der Schiffahrt gefährlich sind und fortgeschafft werden müssen. Der Betrieb von Steinbrüchen und der Transport der Bruchsteine giebt aber häufig Veranlassung, dafs neue Steine in das Flufsbett und in das Fahrwasser kommen. Oft werden die Steine in hohen Ufern neben dem Strom gebrochen, und hierbei geschieht es nicht selten, dafs einzelne Blöcke über das Ufer herab in das Wasser rollen, auch werden bei starkem Eisgange selbst gröfsere Steine vom Ufer geschoben. Aus diesem Grunde ist es nothwendig, dafs vor dem Eintritt des Winters die Ufer vor den Steinbrüchen soweit vollständig geräumt werden, als das Hochwasser ansteigen kann. Am übelsten ist es aber, wenn die Schiffe, welche Bruchsteine geladen haben, festfahren, und die Schiffer bei dem geringen Werth des Materials oder bei mangelhafter Controle in der Abnahme der Steine lieber einige Blöcke über Bord, also in das Fahrwasser werfen, als durch Ueberladen in leere Fahrzeuge, die Schiffe soweit zu erleichtern, dafs sie die untiefen Stellen passiren können.

Demnächst geschieht es zuweilen, dafs Schiffe im Fahrwasser versinken. Die Eigenthümer derselben wünschen alsdann einen kleinen Wasserstand abzuwarten, um die Ladungen und die Schiffe mit den geringsten Kosten herauszubringen. Hierdurch kann die Schiffahrt indessen sehr erschwert, oder auch gefährdet werden. Es ist daher dringend nöthig, dafs jedes Schiff, welches im eigentlichen Fahrwasser gesunken ist, ohne Rücksicht auf Mehrkosten schon bei höherm Wasser gehoben wird.

Auch Anker und andre Gegenstände finden sich zuweilen im Fahrwasser, und gefährden die Schiffahrt. Bei einer gehörig eingerichteten Strompolizei wird jedesmal auf die erste Anzeige über das Vorkommen solcher Schiffahrts-Hindernisse für deren Beseitigung gesorgt, und zwar geschieht dieses um so schneller und mit Anwendung der kräftigsten Maafsregeln, je störender das Hindernifs ist.

Endlich werden manche Flüsse, besonders wenn sie sehr seicht und im Sumpfboden eingeschnitten sind, während des Sommers durch einen starken Pflanzenwuchs gesperrt, welcher die Schiffahrt behindert und eine noch stärkere und schnellere Verlandung zur Folge hat. Besonders geschieht dieses in solchen Bassins, wo die Strömung sehr mäfsig ist, oder wohl ganz aufhört. Dazu kommt noch, dafs die Pflanzen, wenn sie nicht beseitigt werden, nach ihrem Absterben zu Boden sinken, und in jedem Jahre eine neue Schicht vegetabilischer Stoffe darstellen, die im Laufe der Zeit in eine Torfbildung übergeht.

Zunächst mag von dem Schneiden und Ausheben dieser Pflanzen, oder vom sogenannten Krauten die Rede sein. Da die Wassertiefe nicht bedeutend zu sein pflegt, und gerade in den Sommermonaten, wenn die Vegetation am stärksten ist, die Arbeit vorgenommen werden mufs, so geschieht dieselbe gewöhnlich in sehr einfacher Weise. Die Arbeiter gehn mit Sensen in das Bach- oder Flufsbett, oder in den Kanal hinein, und mähen das Kraut in gleicher Weise unter Wasser, wie sie dieses sonst im Felde thun. Das gelöste Kraut, das zunächst auf der Oberfläche schwimmt, wird mit langen Rechen ans Ufer gezogen.

In Masuren habe ich gesehn, dafs man eine recht vollständige Krautung der Bach-Betten durch eine Heerde von Pferden bewirkt, die möglichst schnell und zwar dicht gedrängt in dem Bach stromauf getrieben werden. Sie reifsen beim starken Traben mit den Füfsen die Stengel dicht über dem Boden ab, und lösen sogar theilweise die Pflanzen zugleich mit ihren Wurzeln. Dieses Mittel wirkt zwar sehr schnell, es ist aber für die Pferde höchst angreifend und sogar gefährlich, denn die schwächsten, die nicht rasch genug die Ranken abreifsen können, werden von diesen zurückgehalten, und alsdann von den andern Pferden umgeworfen. Aufserdem mufs das

Bett einen festen sandigen Untergrund haben, weil der Widerstand sonst auch die Kräfte der stärksten Pferde übersteigen würde.

Zuweilen bedient man sich besondrer Apparate zum Schneiden der Pflanzen in den Kanälen und Flufsbetten. Betancourt schlug zu diesem Zweck vor, einige Sicheln am untern Ende einer vertikalen Achse zu befestigen, durch deren Drehung die Sicheln in derselben Weise wie beim gewöhnlichen Mähen, das Kraut abschneiden sollten. Dabei mufs indessen noch eine Vorrichtung zum regelmäfsigen Fortschieben der Achse angebracht sein. Es ist nicht bekannt, ob jemals hiervon Gebrauch gemacht ist. In Frankreich findet die sogenannte Sense von Ermenonville vielfache Anwendung. Ihre Benennung hat sie von dem Orte erhalten, wo sie zuerst gebraucht sein soll. Sie wird als sehr wirksam und bequem selbst bei gröfserer Wassertiefe gerühmt. Ein eiserner Rahmen, bestehend aus zwei Latten, die unter einem Winkel von 60 Graden zusammengesetzt, und aufserdem in ihrer Mitte mit einander verbunden sind, tragen an ihren äufsern Seiten zwei aufgenagelte Sensen-Blätter (Fig. 212. auf Taf. XXVII.). Aus der Mitte des auf diese Art gebildeten gleichseitigen Dreiecks geht ein eiserner Arm aus, der in eine Röhre endet, worin der hölzerne Stiel befestigt ist. Letzterer ist, wie die Figur zeigt, rückwärts und zwar unter einem Winkel von 36 Graden gegen die Ebne des Rahmens geneigt. Die beiden Sensenblätter umfassen den Raum von nahe 3 Fufs Breite.

Beim Schneiden legt man einen Prahm, oder ein Flofs, dessen Länge nahe mit der Breite des Kanals übereinstimmt, quer über denselben. Das Flofs mufs aber von beiden Ufern so weit entfernt bleiben, dafs es noch in deren Richtung bequem fortgezogen werden kann. Auf beiden Ufern befinden sich die Arbeiter, auch wohl die Pferde, die das Flofs langsam fortziehn, und zwar mufs dieses gegen den Strom geschehn, damit die Sensen um so leichter die Stengel der Pflanzen treffen, und nicht etwa darüber fortgleiten. Das blofse Ziehn genügt indessen noch nicht zum vollständigen Abschneiden des Krautes, denn bei der grofsen Beweglichkeit desselben weicht es zur Seite der Sensen aus, wenn diese nur langsam und sanft bewegt werden. Jeder Apparat mufs daher fortwährend hin und hergestofsen werden, indem man ihn zurückschiebt und hierauf schnell anzieht. Auf dem Prahm oder Flofs stehn die Arbeiter, welche die Stiele der Sensen führen, und zwar müssen so

viele Sensen in Thätigkeit sein, dafs sie das ganze Kanalbett und zugleich die Dossirungen unter Wasser umfassen. Auf diese Art ist die Arbeit selbst bei gröfsrer Tiefe leicht und sicher und mit geringen Kosten auszuführen. Bei einem Kanal von etwa 36 Fufs Breite im Wasserspiegel kostete die Räumung der laufenden Ruthe nur 1 Silbergroschen 3 Pfennige, und zwar einschliefslich des Aufziehens des abgeschnittnen Krautes. *)

In England hat man auf dem obern Theil des Witham-Flusses ein andres Verfahren angewendet, wobei gleichfalls das Abschneiden der Pflanzen sehr schnell und mit geringen Kosten bewirkt werden soll. **) Man niethet nämlich ein Sensenblatt an das andre, bis die Schneide so lang wird, dafs sie die ganze Breite des Bettes überspannt. An jedes Ende der Schneide ist eine eiserne Stange befestigt, die von einem Arbeiter getragen wird. An die untern Enden dieser Stangen sind aber Leinen gebunden, die auf jedem Ufer von vier Mann, und zwar gegen den Strom gezogen werden. Wenn für Ablösung der Mannschaft gesorgt ist, soll man an einem Tage nahe eine deutsche Meile lang das Flufsbett auf diese Art reinigen können. Man mufs aber die Schneide in der Mitte noch mit Gewichten beschweren, damit sie auf dem Grunde aufliegt.

Vor einigen Jahren zeigte sich plötzlich in manchen Fahrwassern des nördlichen Deutschlands so wie auch in England eine bisher in Europa unbekannte Pflanze, die sich so schnell und so massenhaft ausbildete, dafs sie der Schiffahrt wesentlich nachtheilig wurde. Dieses ist die sogenannte Wasserpest (*Elodea canadensis*, oder *Anacharis alsinastrum*). In Flüssen kam sie seltener vor, und nur in solchen, welche schwache Strömung haben, dagegen wucherte sie übermäfsig in Kanälen, Landseen und Flufshäfen. Mit ihren vielfachen Verzweigungen füllte sie die ganze Wassermasse vom Boden bis zur Oberfläche so vollständig aus, dafs es mitunter überaus schwierig war, mit einem Ruderboote hindurchzufahren. Die Mittel die man zu ihrer Beseitigung anwandte, zeigten sich beinahe ganz erfolglos, denn es war höchst mühsam, die dichtverwachsne Masse vom Grunde abzureifsen, und noch schwieriger, sie

*) *Annales des ponts et chaussées* 1832. *I. p.* 383.
**) *Civil engineer and architect's journal.* II. *p.* 398.

auszuheben. Der gröfste Uebelstand war aber, dafs der kleinste Theil der Pflanze, der zurück blieb, wieder Wurzel schlug und aufs Neue schnell anwuchs. Auf dem Alster-Bassin in Hamburg soll sie durch häufiges Ueberfahren mit kleinen Dampfböten vertilgt sein. Glücklicher Weise findet sie indessen nicht nachhaltig die zu ihrem Wachsthum nöthigen Stoffe, woher sie nach wenig Jahren, wenn auch nicht vollständig verschwindet, doch wenigstens so selten wird, dafs sie nicht mehr hinderlich ist.

Das Herausschaffen der theilweise oder beinahe ganz versandeten Baumstämme ist gemeinhin sehr schwierig, besonders wenn sie noch mit Aesten und Wurzeln versehn sind, womit sie in den Grund eingreifen.

Zunächst entsteht die Frage, wie der Stamm gefafst werden kann. Gewöhnlich bemüht man sich, eine Kette darunter hindurch zu ziehn, was aber meist nicht leicht ist, und erst nach manchen vergeblichen Versuchen zu gelingen pflegt. Die Stelle, wo man die Kette hindurchziehn will, mufs ganz oder doch beinahe freigelegt werden, damit man mit Haken unter dem Stamm durchstofsen kann. Man beginnt daher mit dem Forträumen des Sandes oder Kieses, wozu Handbagger, einfache Kratzapparate und dergl. benutzt werden. Alsdann setzt man die Spitze eines Boots-Hakens in eines der letzten Glieder der Kette und stöfst den Haken möglich flach unter den Stamm, indem man sich bemüht, durch fortgesetztes Drehn ihn so weit zu treiben, dafs er bis über die Mittellinie des Baums herausreicht. Auf der gegenüberliegenden Seite mufs ein recht tiefer und freier Raum vorher gebildet sein, da von hier aus mit einem zweiten Haken die Kette gesucht werden soll. Sobald sie gefunden ist und der zweite Haken eines der Glieder gefafst hat, kann man die Kette hindurchziehn. Wie unvollkommen diese Methode auch ist, indem sie in einem sehr unsichern Probiren besteht, so führt sie doch fast jedesmal endlich zum Ziel, wenn der Stamm nicht tief unter Wasser liegt, und die Arbeiter bereits einige Uebung erlangt haben.

Bei Darstellung des neuen Bettes für den Allier benutzte Régemortes *) statt des ersten Hakens ein Werkzeug, das einer grossen gekrümmten Nadel nicht unähnlich ist. Dieselbe Vorrich-

*) *Déscription du nouveau pont à Moulins.* 1771, Seite 16.

tung hat man auch auf der Elbe angewendet. *) Fig. 213. zeigt den Apparat. Er besteht in einer 6 bis 8 Fufs langen gekrümmten eisernen Stange von 9 Linien Stärke, deren hinteres Ende an einen hölzernen Stiel befestigt ist. Vorn ist die Stange zugeschärft und mit einer Oese versehn, durch welche ein fingerdickes Seil gezogen wird. Sobald man dieses von der andern Seite mit dem Haken fassen kann, wird das eine Ende des Seils angezogen, die Kette daran befestigt, und indem man das andre Ende zurückzieht, schlingt man nicht nur die Kette um den Stamm, sondern bringt auch zugleich die Nadel wieder heraus.

Die Methode stimmt mit derjenigen überein, die Bonvoux im Anfange dieses Jahrhunderts anwandte, um unter einem in der Mündung der Loire gesunknen Schiffe mehrere starke Taue hindurchzuziehn. **) Eine eiserne Nadel im Kreisbogen gekrümmt, von 1 Zoll 2 Linien Stärke und 36 Fufs Länge war durch mehrere Speichen an eine horizontale Achse befestigt. Letztere ruhte auf einem Gerüst in angemefsner Höhe zur Seite des Schiffes. Die Nadel, die sonach die Felge eines unvollständigen Rades bildete, wurde in den Grund gestofsen, indem sie theils unmittelbar geschoben und herabgedrückt, theils aber durch Aufschlagen auf ihr Ende und auf die Speichen bewegt wurde. Sobald aber eine Speiche in den Grund drang, oder sich dem Schiffskörper näherte, wurde sie gelöst und beseitigt. Das vordere Ende der Nadel erschien endlich auf der andern Seite des Schiffes. Die Leine, die auch hier an der Spitze der Nadel befestigt war, diente wieder nur zum Anstecken und Durchziehn des schweren Taues, woran das Schiff gehoben wurde.

Man kann die Zug-Kette in vielen Fällen bequemer und sehr sicher an den zu hebenden Baumstamm befestigen, wenn man in den letzten eine starke Holzschraube hineindreht, oder auch einen Bolzen mit Widerhaken eintreibt. In beiden Fällen mufs der Stiel, woran man entweder die Schraube dreht, oder auf dessen Kopf man mit dem Hammer schlägt, bis über Wasser und sogar

---

*) Die daselbst angewendete Methode zum Fassen und Heben der Baumstämme ist in Crelle's Journal für die Baukunst I. Seite 147 beschrieben.

**) *Mémoires des savans étrangers. Tom. V.*

bis über den Rand der Fahrzeuge heraufreichen, auf welchen sich die Arbeiter befinden.

An das obere Ende des Stiels läfst sich die Kette nicht füglich befestigen, weil man nicht hoffen darf, die Schraube oder den Bolzen gerade in der Richtung des Zuges einzutreiben, diese auch gemeinhin veränderlich ist, indem der Baumstamm beim Lösen und Heben bald auf der einen und bald auf der andern Seite stärkern Widerstand findet. Wenn aber die Richtung des Zuges nicht mehr mit der Stellung der Eisenstange übereinstimmt, so wird diese verbogen, oder auch abgebrochen. Hiernach ist es nöthig, die Kette unmittelbar neben dem Stamm zu befestigen, und hierzu dürfte sich die Fig. 214. dargestellte Einrichtung besonders empfehlen. Die Schraube oder der Bolzen trägt nämlich unmittelbar über sich einen starken Kopf, gegen welchen sich das erste Glied der Kette legt. Bei Anwendung der Schraube erreicht man hierdurch noch den Vortheil, dafs die Kette an den Drehungen nicht Theil nimmt. Die in der Figur dargestellte Oese dient zur Aufnahme eines Hebels, womit man die Schraube dreht, bei Benutzung eines mit Widerhaken versehenen Bolzens ist an diesem ein verstärkter Kopf anzubringen, gegen den die Schläge mit dem Hammer geführt werden.

Nachdem die Kette auf eine oder die andre Art am Stamm befestigt ist, so kommt es darauf an, den letzten zu heben. Die mechanische Vorrichtung, deren man sich dabei bedient, steht gemeinhin auf zwei Fahrzeugen, die durch übergelegte Balken mi einander so verbunden sind, dafs ein Zwischenraum von 6 bis 10 Fufs frei bleibt, man pflegt auch zwei Winden, die eine am vordern und die andre am hintern Ende der Schiffe anzubringen, um den Stamm sicher heben und schwebend halten zu können. Die einfachste Vorrichtung, die man in diesem Fall auch häufig anwendet, ist die sogenannte Polnische Winde. Ein gerader rund bearbeiteter starker Stamm wird über beide Fahrzeuge gelegt und jene Kette darum geschlungen. Mit andern Ketten befestigt man daran einen oder zwei lange Hebels-Arme. Ein solcher Arm kann aber nur wenn er nahe horizontal gerichtet ist, von mehreren Arbeitern gefafst und kräftig angezogen werden. Man bindet daher an sein äufseres Ende ein Tau, durch welches die Kraft der Arbei-

ter auf den Hebelsarm übertragen wird. Aber auch dieses Mittel zeigt sich in den meisten Fällen noch unzureichend, und man sieht sich oft gezwungen, an den Arm einen Flaschenzug anzubringen, um ihn schärfer anziehn zu können. Auf diese Weise pflegt man freilich endlich den Baum zu heben, aber dieses geschieht so langsam und mit so vielfachen und anhaltenden Unterbrechungen, dafs man bei häufiger Wiederholung derselben Arbeit andre Vorkehrungen zu treffen pflegt.

An der Elbe wird deshalb, wie auch sonst geschehn, eine Schraubenvorrichtung benutzt, die den Vortheil gewährt, dafs die Arbeit immer beliebig unterbrochen werden kann, ohne dafs der Baum wieder herabsinkt. Bei hölzernen Schrauben ist indessen die Reibung sehr grofs, besonders wenn sie quellen, oder sich werfen, daher werden eiserne Schrauben mit metallnen Muttern gewählt. Die Spindeln sind 4 Fufs lang, 3 Zoll stark und haben vierseitige prismatische Köpfe, worauf vier eiserne Kreuz-Arme gesteckt werden. Ein Paar solcher Schrauben steht vorn, und eins hinten auf den mit einander verbundnen Schiffen. Jedes Paar trägt auf den Schraubenmuttern einen starken hölzernen Sattel, woran die Zug-Ketten befestigt sind. Wenn der Sattel aber bis zum obern Ende der Schraubenspindeln gehoben ist, während der Stamm noch zum Theil im Grunde steckt, oder wenigstens noch nicht die gehörige Höhe erreicht hat, so legt man zu beiden Seiten der Kette, und zwar möglichst nahe, zwei starke Unterlagen, steckt einen Bolzen durch das nächste Kettenglied, und dreht die Schrauben zarück. Hierauf wird die Kette scharf angezogen, aufs Neue am Sattel befestigt, und die Hebung fortgesetzt. Dieser Apparat ist bereits seit langer Zeit mit Erfolg benutzt worden.

Eine noch vollständigere Einrichtung zum Ausheben der Baumstämme, und zwar derjenigen, die ganz vom Wasser bedeckt sind und mit ihren Wurzeln im Sande liegen, ist auf den Nordamerikanischen Strömen im Gebrauch. *) Die dabei benutzten Fahrzeuge heifsen Snagboats. Sie bestehn aus zwei mit einander fest verbundnen Schiffen. Der Zwischenraum zwischen beiden ist nur einige Fufs weit geöffnet. Eine auf das gemeinschaftliche Deck gestellte

---

*) *Stevenson sketch of the civil Engineering of North-America.* London 1838. Seite 110.

Dampfmaschine treibt theils ein Paar Ruderräder, um die Schiffe mit Leichtigkeit nach jedem Stamm zu bringen, den man heben will, theils auch eine kräftige Windevorrichtung, die in der Mitte des Decks sich befindet. Um einen Stamm zu heben, legt man die Schiffe oberhalb desselben vor Anker und setzt die Radwelle ausser Verbindung mit der Maschine. Man läfst das Ankertau langsam auslaufen und giert zugleich mit Hülfe beider Steuerruder so weit, bis die Winde sich genau über dem Stamm befindet. Letzterer wird nun mit der Zange gefafst, die am Ende der Zugkette befestigt ist, und hierauf setzt man die Windevorrichtung durch die Dampfmaschine in Bewegung. Auf diese Art wird der Stamm gehoben, und sobald er theilweise über Deck sich befindet, zersägt.

Mit den beschriebnen Winde- end Schraubenvorrichtungen wird der Stamm gemeinhin nicht ganz aus dem Wasser gehoben, er wird vielmehr nur aus dem Grunde gelöst und schwebt über demselben, so dafs er ungefähr eben so tief eintaucht als die Schiffe. Letztere führt man alsdann an eine passende Stelle von geringer Wassertiefe neben dem Ufer. Der Stamm wird hier auf den Grund niedergelassen und mittelst einer auf dem Ufer aufgestellten Erdwinde auf das Land gezogen. In Ermangelung einer Erdwinde kann man auch die Hebelvorrichtung benutzen, die Fig. 215. in der Ansicht von oben oder im Grundrifs dargestellt ist, welche in Steinbrüchen häufig Anwendung findet. An einen Baumstamm oder fest eingegrabnen Pfahl wird ein starker Hebel, der nach Umständen 20 bis 30 Fufs lang ist, mittelst einer Kette befestigt. Derselbe ist auf jeder Seite der Kette, etwa im Abstande von 2 Fufs, mit einem eisernen Haken versehn, auf welche man abwechselnd die passenden Glieder der Zugkette steckt. Am Ende des längern Arms steht die Mannschaft, welche den Hebel in horizontaler Richtung zwischen *A* und *B* hin und her bewegt. Nach der Figur ist der Hebel so eben bis zum Punkt *A* gezogen, und die Kette mufs nunmehr mit dem andern oder dem äufsern Haken in Verbindung gesetzt werden, damit beim Rückgange des langen Arms nach *B* der Stamm weiter herauf gezogen werden kann.

Bei sehr steilen Ufern ist dieser Apparat nicht anwendbar, weil der Stamm während des Verlegens der Kette nicht gehalten wird, und zurückfällt, man hat indessen wohl jedesmal Gelegenheit, eine passende Uferstelle in der Nähe zu benutzen. Das Aufziehn schwe-

rer Stämme wird übrigens bei flachen Ufern noch erleichtert, wenn man lange Hölzer als Bahnen darunter legt.

Vom Heben gesunkener Schiffe war bereits die Rede, soweit dabei ein Verfahren angewendet wird, welches dem für Baumstämmen üblichen ähnlich ist. Hierzu sind indessen vielfach andre Methoden besser geeignet, die nicht mit Stillschweigen übergangen werden dürfen, und zwar mag zunächst die Beseitigung gesunkner Flufsschiffe behandelt werden. Dabei tritt die grofse Erleichterung ein, dafs dieselben gewöhnlich keinen hohen Wasserstand über sich haben, auch mit gar keinem, oder wenigstens mit keinem besonders festen Deck verbunden sind. Es ist daher in den meisten Fällen möglich, sie durch Ausheben der Ladung zu erleichtern, bevor sie gehoben werden.

Unter den Rheinschiffen sinken am häufigsten diejenigen, welche mit Steinkohlen beladen sind, also die Ruhrnachen. Seltner geschieht dieses bei denen, welche Steine geladen haben, und am wenigsten kommt das Sinken bei werthvollen Ladungen vor. Es ist natürlich, dafs man im letzten Fall auch mehr Vorsicht auf die sichre Führung der Schiffe verwendet. Steinkohlen, Bruchsteine und selbst gebrannte Steine werden mit Handbaggern oder mit dem Fig. 218. dargestellten Haken gefafst und herausgehoben. Bei grossen Steinen und andern schweren Gegenständen kann man die Stein-Zangen benutzen. Die Arbeit wird aber wesentlich erleichtert, wenn der Wasserstand möglichst klein ist, daher pflegt man, sobald der obere Theil der Ladung herausgeschafft, und sonach das Gewicht schon bedeutend vermindert ist, das Schiff zwischen zwei andern zu heben. Zu diesem Zweck sucht man unter das vordere und hintere Ende Taue zu ziehn, was bei der gewöhnlichen Form der Flufsschiffe nicht schwer ist. An diesen wird das gesunkne Schiff so weit aufgewunden, dafs es noch unter Wasser bleibt, weil es sonst die andern Schiffe zu sehr belasten würde, auch die gewöhnliche Windevorrichtung dabei leiden könnte. Nunmehr pflegt das vollständige Herausbringen der Ladung keine Schwierigkeit zu bieten, auch entfernt man die Masten und Alles, was nicht zum eigentlichen Schiffskörper gehört, wodurch derselbe so erleichtert wird, dafs man ihn an ein flaches Ufer führen und behufs der Reparatur auf dasselbe heraufziehn kann.

Auf dem Frischen Haff zwischen Stettin und Swinemünde,

so wie auch auf dem damit verbundenen sogenannten kleinen Haff, das nach Anclam und Wolgast führt, pflegen in jedem Jahre einige Oder-Kähne zu sinken. Veranlassung dazu giebt gemeinhin die Veränderung des Wetters, indem der Wind sich verstärkt, während die Schiffe auf der Fahrt sind, die man vielfach auch so stark beladet, dafs sie nur wenig Bordhöhe behalten, also schon bei mässigem Wellenschlage sich mit Wasser füllen. Zum Heben derselben sind vollständige Apparate angeschafft, die, so oft es nöthig ist, mit den dazu gehörigen Prahmen durch ein Dampfboot an Ort und Stelle gebracht werden, und die Hebung glückt jedesmal in wenigen Tagen, wenn die Witterung einigermaafsen günstig ist. Diese Apparate bestehn wieder zunächst in zwei Polnischen Winden, also in abgerundeten Bäumen, die auf zwei Prahmen liegen, und an denen das Schiff aufgewunden wird. Für den Fall aber, dafs das Gewicht so grofs ist, dafs die Prahme es nicht tragen können, werden dreibeinige Böcke aus starken Stämmen aufgestellt, von welchen aus mittelst mechanischer Vorrichtungen der Zug erfolgt.

Soweit es geschehn kann, versucht man jedesmal zunächst die Ladung oder wenigstens einen Theil derselben zu beseitigen, um das Schiff möglichst schnell zu erleichtern, und in dieser Beziehung ist der unter dem Namen Scaphander bekannte Taucher-Apparat, von dem im Folgenden die Rede sein wird, besonders wichtig. In solchem kann der Taucher, der mehrere Stunden unter Wasser bleibt, die Ladung, wenn diese aus gröfsern Stücken besteht, oder auch andre schwere Gegenstände, wie Anker, Ketten u. dergl. leicht an Taue befestigen, woran sie herausgezogen werden. Aufserdem findet der Taucher aber auch Gelegenheit an das Schiff selbst Taue zu befestigen, womit dieses schliefslich gehoben wird. Man hebt dasselbe aber nicht über Wasser, weil alsdann der nöthige Zug bedeutender sein müfste, sondern nur so weit, dafs es so eben den Wasserspiegel berührt, worauf die Ladung vollends beseitigt wird. Setzt man alsdann das Heben noch etwas weiter fort, so dafs der Schiffsbord überall heraustritt, so beginnt das Auspumpen, und wenn das Schiff nicht leck ist, so hebt es sich nunmehr von selbst. Andernfalls mufs es zwischen den Prahmen hängend auf flaches Wasser an einer geeigneten Stelle gebracht werden, von wo es auf das Ufer gezogen und reparirt werden kann.

Sind Seeschiffe in grofser Tiefe gesunken, in welchem

Fall sie bald zu versanden pflegen, so ist es unmöglich, Ketten unter ihnen hindurch zu ziehn, an welchen sie gehoben werden könnten. Es bleibt alsdann nur übrig, in ähnlicher Weise, wie grofse Steine umschlungen werden, starke Ketten über dem Grunde rings um sie zu legen, an welche schon vorher die nöthige Anzahl Hebeketten eingefügt ist, die zu beiden Seiten gleichmäfsig vertheilt sind. Gelingt es, die Hauptkette recht fest zu schliefsen, so wird dieselbe durch die Hebeketten noch schärfer angespannt, und findet alsdann den nöthigen Widerstand, so dafs man an den letzteren das Schiff heben kann. Wenn dieses Verfahren auch unsicher und von vielen Zufälligkeiten abhängig ist, so hat es dennoch in verschiednen Fällen günstige Resultate gegeben, und zwar zu einer Zeit, als man bequeme Taucher-Apparate noch nicht kannte.

Der Hafenmeister White in Cork hatte in dieser Weise vor 30 Jahren vier Segelschiffe, drei Dampfschiffe und eine Menge kleinerer Fahrzeuge gehoben. Das Verfahren dabei war, dafs eine schwere Kette, welche das ganze Schiff umspannen sollte, zwischen zwei andern Schiffen so aufgehängt wurde, dafs sie in der Mitte den Grund vor dem Buge des zu hebenden Schiffes berührte Man zog sie alsdann hin und her, bis man sich überzeugte, dafs sie den Vordersteven gefafst hatte. Alsdann fuhren beide Schiffe zurück und brachten die Enden der Kette hinter dem Spiegel zusammen. Ueber diese Enden wurde ein schwerer elliptischer Ring herabgelassen, der am hintern Theil des Schiffes niederfiel. Die Enden der Kette wurden wieder auf beide Schiffe gegeben, und indem diese in entgegengesetzten Richtungen seitwärts fuhren, so zogen sie die Kette scharf an, sie mufsten darauf aber so festgelegt werden, dafs die Kette immer scharf gespannt blieb. An diese Kette war schon vorher die nöthige Anzahl von Hebeketten an den passenden Stellen angesteckt, die an Buoyen befestigt waren, und daher leicht gefafst werden konnten. Sie wurden zur Zeit des niedrigen Wassers an eben so viele grofse Schiffe gegeben, die sich rings umher legten. Wenn alsdann die Fluth eintrat, so hoben sich die letzteren und zogen das gesunkene Schiff so weit aus dem Grunde, als das Wasser sich hob. Man brachte alsdann das Wrack auf einen höhern Grund, und hob es hier bei der nächsten Fluth

wieder weiter, bis es bei kleinem Wasser trocken lag und alsdann ausgebessert oder abgetragen werden konnte. *)

Bei einem hölzernen Dampfboot, in welchem in grofser Länge eine Bohle beim Aufstofsen ausgebrochen war, und das gleichfalls in der Nähe von Cork gesunken war, konnte das beschriebne Verfahren keine Anwendung finden, weil das Schiff so nahe an dem engen Fahrwasser lag, dafs die zum Heben bestimmten Fahrzeuge sich nicht aufstellen liefsen. Hier wurde durch einen leichten Fangedamm, der das Schiff umschlofs und bis zu dem Ufer sich fortsetzte, ein Bassin gebildet, das man auspumpte und so weit vertiefte, bis die lecke Stelle trocken lag. Dieselbe dichtete man alsdann durch übergelegten, getheerten Flanell und aufgenagelte Bretter, worauf beim Einlassen des Wassers in das Bassin das Schiff aufschwamm und nach der Baustelle gebracht werden konnte.

Das Dichten der Lecke läfst sich, wenn sie über dem Grunde liegen, durch Taucher bewirken, gemeinhin ist dieses aber nicht der Fall, und man hat alsdann auch versucht, die Dichtung auf der innern Seite des Schiffes gleichfalls durch Taucher vorzunehmen. Wenn aber hierauf das Schiff ausgepumpt wird, so stöfst der Wasserdruck die aufgelegten Bretter mit dem Dichtungs-Material zurück, und man mufs daher diese durch kräftige Verstrebung gegen die Schiffswände unterstützen. Auch dieses Verfahren glückt zuweilen, da es keineswegs erforderlich ist, einen vollkommen wasserdichten Schlufs darzustellen, vielmehr die Aufgabe nur darin besteht, dafs die Pumpen eben so viel Wasser heben, als zufliefst, während das Wasser im Schiff so weit gesenkt ist, dafs dieses aufschwimmt.

Ist der Leck weder auf der äufsern, noch auf der innern Seite zugänglich, so bietet sich zuweilen noch die Gelegenheit, im Schiffe selbst durch einen Fangedamm denjenigen Theil des Raums, der in freier Verbindung mit dem äufsern Wasser steht, vom übrigen Schiffsraum zu trennen und durch Auspumpen des letztern das ganze Schiff zu heben. Man bedarf dabei aber nur eines einzigen Fangedamms, wenn die lecke Stelle, wie gewöhnlich, neben dem Vordersteven sich befindet. Auch dieses Verfahren hat in seltnen Fällen, namentlich bei eisernen Schiffen, sich brauchbar erwiesen.

Wenn ein Schiff in so geringer Tiefe gesunken ist, dafs sein

---

*) *Civil-Engineer and Architects Journal.* Vol. VIII. p. 48.

Bord über Wasser liegt, so hebt es sich schon von selbst, sobald man den Wasserstand darin hinreichend tief senken kann. Jede Pumpe oder sonstige Schöpfmaschine, die man wirken läfst, senkt den Wasserstand bis zu einer gewissen Tiefe, nämlich so weit, bis eben so viel Wasser durch den Leck hineinfliefst, als man auspumpt. Die zufliefsende Wassermenge vermehrt sich aber im Verhältnifs der Quadratwurzel der Niveau-Differenz zwischen dem äufsern und innern Wasserstande. Hat man diese entsprechende Senkung erreicht, ohne dafs das Schiff sich hebt, so ist das fernere Pumpen zwecklos. Sobald man dagegen eine kräftigere Schöpfmaschine anwendet, oder die Anzahl der Pumpen vermehrt, kann man auch das Schiff tiefer entleeren, und es dadurch vielleicht heben. Hierin begründet sich der Nutzen, den recht kräftige Schöpfmaschinen in diesem Fall haben. Es kommt dabei jedoch nicht nur darauf an, das Schiff nur einmal zu heben, sondern es mufs auch schwimmend erhalten werden, bis es an eine flache Stelle gebracht ist, wo man es ohne Nachtheil wieder sinken lassen kann, gewöhnlich wird es aber sogleich bis zur Schiffsbaustelle geführt. Es ergiebt sich hieraus, dafs die Schöpfmaschine ganz sicher in ihrer Anwendung sein mufs und ihr Betrieb während dieser Zeit nicht unterbrochen werden darf. Dazu gehört bei der Anwendung auf Seeschiffe vorzugsweise, dafs die Ventile und Liederungen der Pumpen nicht etwa durch den eintreibenden Ballast oder das Getreide beschädigt oder unwirksam werden. In dieser Beziehung empfiehlt sich besonders die Kettenpumpe oder das Paternoster-Werk, welches im ersten Theil dieses Handbuches §. 45. beschrieben und Fig. 259. und 260. auf Taf. XIX. dargestellt ist. Dasselbe nimmt überdiefs wenig Raum ein und kann leicht in die Schiffslucken gestellt werden. Es ist mehrfach mit Erfolg zu diesem Zweck in Neufahrwasser und Pillau angewendet worden.

Sobald das Schiff gehoben ist, bemüht man sich zur Erleichterung der Pumpen die Lecke zu stopfen. Im Innern kann man gemeinhin wenig dafür thun, da Alles was man hineinbringt, durch den äufsern Wasserdruck wieder herausgetrieben wird, dagegen werden die Gegenstände, die man von aufsen gegen die lecke Stelle bringt, durch den Wasserdruck heran und sogar in die Oeffnungen hineingedrückt. Mit vielem Erfolg hat man häufig Segel um die Schiffe herumgezogen, und um das Eindringen des Wassers noch

mehr zu vermindern, die Segel vorher verdoppelt und Spreu, Werg und andre lose Massen dazwischen genäht. Andrerseits kann man mittelst untergezogner Taue das bereits gehobne Schiff auch leicht zwischen zwei andre Schiffe oder, wenn es nur klein ist, an grofse leere Tonnen hängen.

Schliefslich wäre noch eines wesentlich verschiedenen Verfahrens zum Heben gesunkner Schiffe zu erwähnen, das in neurer Zeit vielfach empfohlen, aber wie es scheint, nur selten wirklich versucht ist. Die erste Anregung dazu gab der schon benannte Hafenmeister White in Cork. Derselbe schlug nämlich vor etwa 40 Jahren vor, das auf der Rheede Spithead, zwischen Portsmouth und der Insel Wight, im Jahre 1782 gesunkne Linienschiff Royal-George, welches die Schiffahrt sehr gefährdete, und so tief versandet war, dafs es durch andre Schiffe nicht gehoben werden konnte, dadurch aufzuheben, dafs man grofse eiserne Cylinder unter Wasser daran befestigte. Diese sollten beim Versenken mit Wasser gefüllt sein, darauf aber durch Pumpen mit Luft gefüllt werden. Der Versuch unterblieb, und wie im Folgenden mitgetheilt werden wird, hat man später das Wrack durch lange fortgesetztes Sprengen mit Pulver auseinander gerissen, und die einzelnen Theile beseitigt.

Dieselbe Methode, mittelst grofser Behälter, die unter Wasser mit Luft gefüllt werden, die Schiffe zu heben, hat man wie erwähnt, mehrfach für sehr angemessen erachtet und dabei manche Aenderungen empfohlen. Hierher gehört namentlich, dafs man nicht feste Behälter, sondern grofse Ballons aus Leder oder wasserdichtem Zeuge benutzen wollte, die zusammengefalten herabgelassen und unter Wasser mit eingepumpter Luft gefüllt werden sollten. Um aber die Luftpumpe entbehren zu können, wurde in Frankreich der Vorschlag gemacht, in besondern Gefäfsen solche Stoffe herabzulassen, deren Verbindung eine starke Luftentwickelung zur Folge hat, und diese durch Oeffnen eines Ventils zu veranlassen. *)

Endlich liegen zuweilen auch andre Gegenstände, wie Anker, Böte und dergl. auf dem Grunde der Fahrwasser oder schiffbarer Seen. Wenn solche auch nicht den darüber gehenden Schiffen unmittelbar gefährlich sind, so haben sie doch oft solchen Werth, dafs sie deshalb gehoben werden. Auf den Rheeden und an Stellen, wo

---

*) Förster's allgemeine Bauzeitung. 1853. Notizblatt S. 290.

Schiffe häufig ankern, sind sie, wenn sie auch in grofser Tiefe liegen, dennoch gefährlich, weil die Ankertaue oder Ankerketten durch sie an der freien Bewegung behindert werden, auch oft wenn sie gefafst sind, das Aufholen des Ankers unmöglich wird. Hierzu kommt noch, dafs die Ankertaue an ihnen scheuern und dadurch beschädigt werden.

Auf dem Grunde der Pillauer Rheede lagen nach dem ersten Französischen Kriege eine Menge Anker, weil die Handelsschiffe hier häufig schleunigst vor den Kriegs- und Caperschiffen fliehen mufsten, und alsdann die Anker nicht gelichtet, sondern die Taue gekappt wurden. Die Beseitigung dieser Anker war daher dringend geboten, wiewohl dieselben in der Tiefe von 40 bis 60 Fufs lagen. Da gemeinhin die Eigenthümer nicht mehr ermittelt werden konnten, so war das Geschäft, das nur bei ruhiger See vorgenommen werden durfte, recht einträglich und die Privat-Industrie bemächtigte sich desselben, so dafs von 1820 bis 1830 die Rheede vollständig gereinigt wurde. Die in Pillau ansässigen Seeleute, die den aus- und eingehenden Schiffen Hülfe leisten, und darin ihren Erwerb finden, fuhren bei windstillen Tagen, wo ihr gewöhnliches Geschäft unterbrochen war, nach der Rheede und versuchten Anker zu fischen.

Das Verfahren war dabei dieses. An eine lange hinreichend starke Leine waren theils leichte Gewichte und theils leichte Holzstückchen (Flotthölzer) abwechselnd angebunden, so dafs sie etwa 6 Zoll über dem Grunde schwebte. Die beiden Enden der Leine lagen in zwei Böten, und indem diese zuerst in entgegengesetzter Richtung auseinander fuhren, wurde die Leine in gerader Linie ausgespannt. Dann fuhren beide Böte in gleicher Richtung, wobei die Leine immer gespannt blieb, und jeden Widerstand, den sie irgendwo fand, zu erkennen gab. Trat ein solcher ein, so wurden die Böte gegeneinander gerudet, und zwar wieder in der Weise, dafs die Spannung der Leine fortdauernd erhalten wurde. Gemeinhin trafen die Böte nicht aufeinander, indem dieses nur geschehn konnte, wenn der gefafste Gegenstand genau in ihrer Mitte lag. In demjenigen Boote, welches sich am weitesten entfernte, wurde die Leine so weit eingeholt, dafs beide zusammen kamen. Nunmehr schlang man das eine Ende um das andre, oder bildete einen halben Schlag und hierauf fuhren die Böte in entgegengesetzten Richtungen fort,

jedoch so, das dasjenige, welches früher an der rechten Seite gewesen war, nunmehr links abfuhr, und umgekehrt. Hierdurch zog sich die Schlinge immer mehr zusammen und legte sich schliefslich fest um den gefafsten Gegenstand. Wenn alsdann beide Leinen eingeholt und dadurch beide Böte lothrecht über den gefafsten Gegenstand gebracht waren, so wurde dieser nunmehr durch Windevorrichtungen gehoben. Dafs der Erfolg sehr unsicher war, darf kaum erwähnt werden. Die Leine wurde oft nur von den Unebenheiten des Grundes zurückgehalten und schlüpfte darüber fort, sobald die Schlinge sich zuzog. Dieses geschah aber auch häufig, wenn man den Arm eines Ankers gefafst hatte, woher die Mehrzahl solcher Versuche erfolglos blieb. Gelang es aber, einen grossen Anker zu fischen, so entschädigte derselbe reichlich für die frühere fruchtlose Arbeit.

§. 52.

Heben der Steine.

Einzelne Steine im Wasser werden eben so, wie Baumstämme gehoben, das Fassen derselben ist jedoch wegen ihrer geringern Längen-Ausdehnung viel schwieriger. Man begnügt sich auch häufig damit, sie nur aus dem Fahrwasser zu entfernen, wobei sie gar nicht über Wasser gehoben werden, und versenkt sie an eine Stelle des Flufsbettes, die entweder besonders tief, oder so entlegen ist, dafs Schiffe nie darüber fahren. In die Kolke vor den Buhnenköpfen werden sie oft herabgestürzt, weil sie daselbst zur Sicherung der Buhnen dienen. Häufig bringt man sie auch in die Intervalle zwischen den Buhnen, und zieht sie nur auf das Ufer, wenn das Steinmaterial bedeutenden Werth hat.

In manchen Fällen gelingt es auch, Steine aus dem Fahrwasser zu schaffen, ohne dafs man sie heben darf. Dieses geschieht, indem man unmittelbar daneben durch Baggern tiefe Löcher bildet, in welche die Steine von selbst herabsinken. Wie einfach und bequem dieses Mittel indessen auch zu sein scheint, so führt es doch häufig gar nicht, oder nur sehr unvollständig zum Ziel. Die Löcher werden nämlich, bevor sie die gehörige Tiefe haben,

vom Strom wieder zugeworfen, oder der Stein thut dieses selbst, sobald er zu sinken anfängt, und senkt sich dabei so wenig, dafs man die Operation von Neuem anfangen mufs.

Sind die Steine, die man beseitigen will, von kleinern Dimensionen, also nur etwa einen Cubikfufs grofs, so macht das Heben derselben weniger Mühe. Man sammelt sie alsdann in den Fahrzeugen, welche den Apparat tragen, und bringt sie später in grösserer Menge auf einmal an das Ufer.

Wenn man die Steine aus dem Grunde heben, oder auch nur aus dem Fahrwasser bringen will, so müssen sie auf irgend eine Weise gefafst werden. Bei kleinem Wasserstande, wenn die Arbeiter bis nahe an die Sohle des Flufsbettes mit den Händen langen können, glückt es wohl nach einigen Versuchen, die Zugkette daran zu befestigen. Dabei pflegt man wieder den Sand oder Kies ringsumher etwas zu beseitigen, damit man die Kette unterhalb des gröfsten horizontalen Durchschnitts des Steins umschlagen kann. Man mufs beim Aufräumen des Grundes aber vorsichtig sein, insofern der Stein bei seiner verhältnifsmäfsig geringen Länge und seinem grofsen specifischen Gewicht sogleich tiefer einsinkt, wie die Sandmasse darunter nicht mehr die erforderliche Ausdehnung hat. Die Arbeit wird um so mühsamer, je tiefer der Stein unter Wasser liegt. Die Zugkette ist gewöhnlich am Ende mit einem Ringe versehn. Durch diesen zieht man sie vorher hindurch und bildet auf solche Art eine Schlinge, die man rings um den Stein legt, und alsdann möglichst scharf anzieht. Wenn man nunmehr die Kette mittelst der Windevorrichtung anhebt, so kann man wohl den Stein etwas bewegen, gemeinhin auch kanten, aber nachdem dieses geschehn ist, pflegt die Kette sich zu lösen, und unter oder über dem Stein sich durchzuziehn, so dafs derselbe aufs Neue gefafst werden mufs. Vortheilhafter ist es, die erwähnte Schlinge dem Ringe oder der Zugkette gegenüber nochmals zu fassen. Dieses geschieht, wenn man eine zweite jedoch nur kurze Kette benutzt, die an jedem Ende mit einem Haken versehn ist. Der obere Haken dient zum Anstecken an die Zugkette, mit dem untern dagegen mufs die um den Stein gelegte Schlinge gefafst werden. Geschieht dieses an der passenden Stelle, so ist der Stein etwas sicherer unterstützt. Sobald er gelüftet wird, tritt freilich wieder die Gefahr ein, dafs er noch kanten und herabfallen möchte, weil er

nicht leicht so gefafst wird, dafs sein Schwerpunkt genau zwischen beiden Ketten liegt. Man mufs indessen durch Ziehn mit einigen Bootshaken oder durch Herabdrücken der leichtern Hälfte des Steins das Gleichgewicht so lange erhalten, bis man mittelst andrer Ketten oder Taue, die sich später hindurchziehn lassen, den Stein sicher unterstützt hat. Wenn man statt einer, zwei Hülfsketten an die Schlinge befestigt, so darf man erwarten, dafs der Schwerpunkt zwischen den drei Unterstützungspunkten der Schlinge liegt, und diese wird dadurch auch so vollständig gespannt, dafs sie nicht leicht abgleitet. Diese Methode ist insofern zu empfehlen, als man auf die Erhaltung des Gleichgewichts und auf das fernere Abfangen des Steins keine weitere Mühe verwenden darf.

Man kann die erwähnten Hülfsketten gleich an die Hauptzugkette schmieden lassen, und man braucht sich dabei nicht auf zwei derselben zu beschränken, sondern man kann deren drei nehmen, wodurch der Apparat sowohl für gröfsere als für kleinere Steine nutzbar wird.

Will man solche Ketten anwenden, so wird zunächst der Stein durch Baggern rings umher so weit frei gelegt, dafs die Schlinge unter den gröfsten horizontalen Querschnitt kommt, sich also nicht mehr über den Stein ziehn kann. Alsdann bildet man die Schlinge, indem man die Hauptkette durch den an ihrem Ende befindlichen gröfsern Ring zieht, und nachdem man diese Schlinge um den Stein gelegt hat, zieht man sie dadurch an, dafs man einen Bootshaken in das nächste Kettenglied an jenem Ringe einsetzt und so das Heben der Kette verhindert. Die Hülfsketten werden, soweit sie durch den Ring gedrungen sind, in die Zugkette eingehakt, so dafs sie sämmtlich ungefähr die Spannung der Hauptkette haben. Wenn man alsdann die Windevorrichtung in Bewegung setzt, so ist ein Ausweichen oder Herabfallen des Steins nach einer Seite nicht leicht möglich. Das Heben kann in der That nur noch in dem Falle mifslingen, wenn die Schlinge nicht tief genug umgelegt war, und sich über den Stein zieht. Fig. 216. zeigt die Verbindung der Ketten mit dem Bootshaken, der zum Festziehn der Schlinge gedient hat.

Diese Verbindung der Ketten ist dem Steinkorbe einigermaafsen ähnlich. Letzterer verdient eine ausführliche Beschreibung, da er wenig bekannt ist. Sein eigentlicher Zweck ist freilich nicht sowohl das Fassen der Steine unter Wasser, als solcher, die sich

bereits am Ufer befinden. Nichts desto weniger kann er auch unter Wasser sehr vortheilhaft angewendet werden. Beim Gebrauch über Wasser zeichnet er sich aber unter allen sonstigen Apparaten durch Bequemlichkeit und Sicherheit aus. Namentlich beim Ausladen grofser Bruchsteine aus Schiffen ist er unübertrefflich, da er im beschränktesten Raume und bei jeder Form der Steine sich leicht umlegen läfst, und diese in ihm so sicher liegen, dafs ein Herabfallen, das in diesem Fall sehr gefährlich wäre, bei der geringsten Aufmerksamkeit unmöglich ist.

Der Steinkorb besteht aus der Fig. 217. *a* dargestellten Verbindung von Ketten. In das mittlere Quadrat ist ein Kreuz eingesetzt, damit auch kleinere Steine nicht hindurchfallen. Will man einen Stein heben, so zieht man zwei neben einander befindliche Ketten des Korbes um den Stein herum, und nachdem dieses geschehn, steckt man die beiden gröfsern Ringe, die sich an ihren Enden befinden, auf den Haken des Hebezeuges, wie Fig. 217. *b* zeigt. Hierbei ist allerdings Aufmerksamkeit und Ueberlegung erforderlich, weil diese Ketten über den Stein schlüpfen können, und derselbe alsdann nicht in den Korb rollen würde. Die erwähnten Ketten müssen, wenn man sie nicht unter dem Stein hindurchziehn kann, sich doch gegen vortretende Ecken oder Buckel lehnen, damit sie beim Anziehn des Flaschenzuges den Stein heben, so dafs er kantet und in die Mitte des Korbes fällt. Dieses gelingt aber jedesmal, wenn die Arbeiter einige Uebung haben, und zwar geschieht es so sicher, dafs keine vergeblichen Versuche gemacht werden dürfen. Nachdem die beiden Ketten eingehakt sind, breitet man den eigentlichen Korb, oder den mittlern Theil der Kettenverbindung gehörig aus, wie die Figur zeigt, und steckt zugleich die Ringe an den Enden der beiden letzten Ketten auf denselben Haken des Hebezeuges, oder auf einen zweiten, der jedoch mit dem ersten verbunden sein mufs. Die beiden letzten Ketten, die in der Figur *b* noch schlaff herabhängen, zieht der Arbeiter so weit zurück, dafs der Korb ganz ausgebreitet auf dem Boden liegt. Sobald nun das Hebezeug in Bewegung gesetzt wird, spannen sich die ersten beiden Ketten und heben den Stein an einer Seite. Die nächste Verbindungskette des mittlern Theils, oder die eine Seite des Quadrats wird dabei gleichfalls scharf angezogen, und verhindert das Zurückweichen des Steins. Letzterer kann also keine

andre Bewegung machen, als dafs er sich über dieser Verbindungskette dreht, und hierbei rollt oder kantet er rückwärts in den eigentlichen Korb hinein. Die beiden andern Ketten werden, sobald dieses geschieht, gleichfalls steif angezogen und verhindern sonach ein zu weites Zurückrollen. Der Stein legt sich in Folge der gleichen Länge aller Ketten in die Mitte des Korbes und ist nunmehr vollständig unterstützt, wie Fig. 217. *c* zeigt. Ich habe auf diese Art mehrere hundert Schachtruthen Steine heben lassen, deren jeder die Gröfse von 6 bis 20 Cubikfufs hatte, und niemals ist einer derselben herabgefallen, auch erfolgte das Umlegen des Korbes so schnell, dafs es immer in derselben Zeit geschehn war, in welcher der untere Block des Flaschenzuges herabgezogen wurde. Die kleinen Steine wurden dabei aber nicht einzeln gefafst, sondern man schlug die Ketten in der Art um sie, dafs gleichzeitig zwei in den Korb fielen.

Will man mit diesem Apparat Steine heben, die unter Wasser liegen, und zum Theil im Grunde stecken, so mufs man zuerst den Sand rings umher so weit beseitigen, dafs der gröfste horizontale Querschnitt blosgelegt wird. Man zieht alsdann wieder zwei Ketten des Korbes um den Stein und verfährt auf dieselbe Weise, wie eben beschrieben. Hierbei ist indessen die Gefahr weit gröfser, dafs die Ketten über den Stein schlüpfen, ohne ihn in den Korb zu werfen, da man einerseits die vortretenden Ecken nicht so genau bemerken und die Ketten daran lehnen kann, wie an Steinen, die gröfstentheils sichtbar und zugänglich sind. Andrerseits ziehn sich aber auch die ersten Ketten um so leichter seitwärts fort, je länger sie sind. Der letzte Uebelstand läfst sich dadurch beseitigen, dafs man jene beiden ersten Ketten an passender Stelle zusammenbindet, wodurch sie verhindert werden, sich so weit auseinander zu ziehn, dafs der Stein zwischen ihnen hindurchfallen könnte.

Kleinere Steine, besonders wenn sie auf sandigem Boden liegen, lassen sich leicht mit dem gabelförmigen Haken Figur 218. fassen und aus dem Wasser heben. Dieser Haken hat zwei oder drei Zinken, und zwar befinden sich dieselben in einer Ebne, welche der Stiel unter einem Winkel von etwa 70 Graden schneidet. Der Arbeiter legt das Ende des Stiels auf der Schulter und bemüht sich die Zinken unter den Stein zu bringen. Sobald dieses

gelungen ist, richtet er den Stiel senkrecht und hebt den Stein, der auf den Zinken ruht, aus dem Wasser. Die Anwendung dieses Instruments läfst sich noch dadurch erleichtern, dafs man an das untere Ende des Stiels eine Leine bindet, die ein zweiter Arbeiter, während der Stein gefafst wird, schräge anzieht. Auch das Heben wird hierdurch etwas erleichtert.

Zum Fassen der gröfsern Steine unter Wasser und zum Ausheben derselben dient vorzugsweise die Steinzange. Wenn dieselbe gröfsere Dimensionen hat und an jedem Arm mit mehrern Zinken versehn ist, nennt man sie Teufelsklaue. In derselben Art, wie die Zinken des eben beschriebnen Hakens von einer Seite unter den Stein geschoben werden, dringen die Zinken der Steinzange von beiden Seiten gleichzeitig ein, und wenn sie den Stein auch nicht vollständig umschliefsen, so greifen sie wenigstens gegen die untere Hälfte desselben, so dafs sie ihn hinreichend unterstützen. Beide Arme sind durch ein Charnier verbunden und bilden sonach eine Zange, welche, wenn sie scharf geschlossen wird, auch den Stein festhält. Bevor man indessen die Zange einsetzt, mufs man, soviel wie möglich, den Stein durch Baggern frei legen, um ihn theils recht tief fassen zu können, theils aber auch um den Widerstand zu vermindern, den der umschliefsende Boden auf ihn ausübt.

Die Steinzange hat immer zwei Arme. Man hat zwar auch vorgeschlagen, ihr deren mehrere zu geben, damit sie den Stein um so sichrer halten kann, sie wird aber dadurch viel complicirter und ihr Gebrauch weniger bequem. Beide Arme oder wenigstens einer derselben mufs mit einem langen Stiel versehn sein, der über Wasser reicht, damit man die Zange gehörig an den Stein ansetzen kann. Die Art, wie die Zange geschlossen wird, ist verschieden, und hiervon hängt vorzugsweise ihre Wirksamkeit ab.

Fig. 219. *a* zeigt eine Steinzange, welche durch einen besondern Flaschenzug geschlossen wird. Beide Arme sind mit hölzernen Stielen versehn, die über Wasser reichen. Sie dienen zum Oeffnen und Schliefsen der Zange, so wie auch zum Ansetzen derselben an den zu hebenden Stein. Im Charnier kreuzen sich beide Arme, indem sie hier zu Platten ausgeschmiedet neben einander vorbeigreifen. Ein starker Bügel umfafst beide, und ein durchgesteckter Bolzen, der durch ein Splint gesichert ist, verbindet die Arme mit dem Bügel. An letztere ist die Kette befestigt, woran

die Zange hängt, und woran sie zugleich mit dem Stein gehoben wird. Die untern Theile der Arme, welche den Stein fassen, sind gabelförmig gespalten, wie Fig. 219. *b* zeigt, und haben gewöhnlich an der einen Seite zwei, an der andern drei Zinken, die ineinander greifen. An den obern Enden der hölzernen Stiele sind beide Blöcke eines Flaschenzuges befestigt, der zum sichern Schliefsen der Zange dient, wenn der Stein gefafst ist und gehoben werden soll.

Die Benutzung dieser Zange ist an sich nicht unbequem, oft wird sie aber in so grofsen Dimensionen ausgeführt, dafs sie in dem aus Schmiedeeisen bestehenden Theil schon 10 bis 15 Centner wiegt. Hierzu kommt noch das Gewicht der Stiele, die in diesem Fall 6 bis 8 Zoll stark sein müssen, weil sie sonst beim Schliefsen der Zange brechen würden. Der Apparat wird demnach so schwer, dafs man ihn nicht mehr mit Leichtigkeit gebrauchen kann, und namentlich verschwindet alsdann ganz das Gefühl, welches bei Anwendung kleinerer Zangen das richtige Eingreifen sicher beurtheilen läfst. Dieses ist der Grund, weshalb die grofsen Zangen schwer anzusetzen sind, und erst nach manchen Versuchen einen Stein wirklich fassen und heben. Dazu kommt noch der andre Uebelstand, dafs sie durch ihr eignes Gewicht die zu hebende Last bedeutend vergröfsern und zwar gemeinhin so stark, dafs diese mehr als verdoppelt wird. Hierdurch wird wieder die Anwendung eines sehr kräftigen Hebezeuges bedingt, und die Aufstellung desselben wird besonders schwierig, wenn man, wie oft geschieht, nur ein Fahrzeug benutzt, das also mit einem übergreifenden Krahn versehn und stark mit Ballast beschwert sein mufs, weil es sich sonst zu weit überneigen würde, sobald der Stein gehoben wird.

Gewöhnlich giebt man den Steinzangen solche Einrichtung, dafs sie sich beim Heben von selbst schliefsen, indem das Tau oder die Kette, woran sie hängen, schon den Schluſs bewirkt. Hieraus entspringt der Vortheil, dafs der Flaschenzug am äufsern Ende der beiden Arme entbehrt werden kann, und überdies die Kraft, womit die Zange geschlossen wird, dem Gewicht des gefafsten Steins entspricht. Dagegen hat eine solche Zange schon beim Herablassen die Tendenz, sich von selbst zu schliefsen, wodurch namentlich bei schweren Zangen das Einsetzen an den Stein mühsam, und häufig nur dadurch möglich wird, dafs man zwei verschiedne Hebezeuge einrichtet, von denen das eine während des Herablassens und

Einsetzens und das andre während des Hebens benutzt wird. Das erste faſst den Bügel am Charnier, und das zweite die Verbindungskette beider Arme.

Die groſse Teufelsklaue wird häufig und vielleicht in den meisten Fällen *) in der Art aufgehängt, wie Fig. 220. zeigt. Die beiden Ketten, welche vom untern Block des Flaschenzuges, woran die Zange hängt, nach beiden Armen schräge herabgehn, üben auf letztere den Seitendruck aus und schlieſsen dadurch die Zange. Wenn diese daher allein auf solche Art unterstützt ist, so kann sie nur mit Mühe geöffnet werden, sobald sie den Stein fassen soll, und zwar geschieht dieses, indem die beiden Stiele mittelst der daran befestigten Taue seitwärts gezogen werden. Dabei tritt indessen noch ein andrer Uebelstand ein, der das Einsetzen aufs Neue erschwert. Die Achse, in welcher beide Arme verbunden sind, hebt sich, sobald man die Zange öffnet, und senkt sich, sobald man sie schlieſst. Will man sonach die Zange zum Eingriff bringen, so darf man nicht allein die Arme bewegen, sondern gleichzeitig, und zwar dieser Bewegung entsprechend, muſs auch das Hebezeug in Wirksamkeit gesetzt werden, woran die Zange hängt. Man zieht es daher vor, mit einem zweiten Hebezeuge den oben erwähnten Bügel am Charnier der Zange zu fassen, und das in jenem Falschenzuge eingeschorne Tau während des Einsetzens der Zange schlaff auszuziehn.

Es entsteht die Frage, ob die in Fig. 220. dargestellte Anordnung dem beabsichtigten Zweck entspricht, und ob die Zange wirklich mit der erforderlichen Kraft geschlossen wird. Die Kraft, mit welcher die beiden untern Enden der Arme A (Fig. 221.) einander genähert werden, bedingt die Reibung gegen den Stein, und sonach die Sicherheit, womit derselbe gefaſst wird. Diese Kraft verhält sich zu der in gleicher Richtung von den Ketten ausgeübten Kraft zwischen B und B, wie FC und CG. Dieses Verhältniſs ist nicht nur von der Länge der Hebelsarme, sondern auch von der Krümmung derselben abhängig und bei jeder verschiednen Oeffnung der Zange verschieden, insofern der Winkel FCB dem Winkel ACG nicht gleich ist.

---

*) Praktische Anweisung zur Wasserbaukunst von Gilly und Eytelwein. Heft I. Seite 61.

Bezeichnet M das Gewicht der Zange mit Einschluſs des Steins und zwar mit Rücksicht auf die Eintauchung desselben in das Wasser, also die im Punkt E vertikal aufwärts wirkende Kraft, S die Spannung jeder Kette, und β den Winkel, welchen diese mit dem Loth macht, also $BEF = \beta$, so findet man k, oder diejenige Kraft, womit die Befestigungs-Punkte der Kette sich zu nähern streben

$$\tfrac{1}{2} M = S \,.\, \mathrm{Cos}\, \beta$$
$$k = S \,.\, \sin \beta$$
$$\text{also } k = \tfrac{1}{2} M \,.\, \mathrm{tgt}\, \beta$$

Es ist sonach vortheilhaft, die Ketten sehr stark vom Loth abweichen zu lassen, so daſs sie sich sogar der horizontalen Richtung nähern. Wenn β gleich $63\frac{1}{2}$ Graden wird, oder die beiden Ketten unter einem Winkel von 127 Graden divergiren, so ist k gleich M. Wenn die Richtungen der beiden Ketten aber noch mehr divergiren, so wird k gröſser als M und kann sogar in jedem beliebigen Verhältniſs das Gewicht M übertreffen. In der Wirklichkeit läſst sich dieses indessen nicht erreichen, da die Ketten so lang sein müssen, daſs sie jede erforderliche Oeffnung der Zange gestatten. Dazu kommt noch, daſs die Hebelsarme BC gewöhnlich sehr kurz ausfallen, während die Ketten selbst fast immer so lang gewählt werden, daſs ihr Verbindungs-Punkt über Wasser liegt. Sonach bleibt k gemeinhein viel kleiner als M, und das Verhältniſs stellt sich noch ungünstiger heraus, wenn man die Punkte A untersucht. In den meisten Fällen werden bei solchen Zangen die Zinken derselben nur mit einer Kraft zusammengedrückt, welche etwa dem vierten Theil des gehobnen Gewichts gleichkommt, woher bei dieser Anordnung die Zange nicht sicher geschlossen wird, wenn die Zinken nicht vielleicht unter den Stein eingreifen.

Man kann indessen leicht die Einrichtung treffen, daſs die beiden obern Enden der Arme mit einer Kraft zusammengezogen werden, welche dem Gewicht der Zange und des Steins gleichkommt. Es ist dabei nur nöthig, das Zugtau, woran das Hebezeug wirkt, durch einen Ring oder über eine Scheibe des einen Armes zu führen und es am andern Arm zu befestigen. Fig. 222. zeigt diejenige Anordnung, welche in früherer Zeit beim Ausheben der in der Donau gesprengten Steine benutzt wurde. *) Die Figur bedarf

*) Nachrichten von den 1778 bis 1781 in dem Strudel der Donau vorgenommenen Arbeiten. Wien 1781. Seite 25.

keiner weitern Erklärung. Es ist dabei nur zu bemerken, dafs das Hebezeug auf einer Rüstung stand, die von zwei mit einander verbundnen Schiffen getragen wurde. War der Stein gehoben, so schob man starke Bohlen von einem Schiff zum andern, auf welche man den Stein niederliefs. Man legte ihn alsdann zur Seite, um noch andre Steine zu heben, bevor man sie zusammen ans Ufer brachte.

In ähnlicher Weise ist die Zange Fig. 223. zusammengesetzt, die ich vielfach benutzt und überaus bequem gefunden habe. Gewöhnlich wurde sie freilich nur zum Aus- und Einladen und Versetzen von Steinen, also nicht zum Heben unter Wasser benutzt, nichts desto weniger zeigte sie sich auch hierbei, so lange die Wassertiefe nur wenige Fufs betrug, sehr brauchbar. Der eine Arm ist im obern Ende gespalten, und eine eiserne Scheibe darin eingesetzt, um welche das Tau läuft. Die Zange war aus schwachem Eisen geschmiedet, etwas über 3 Fufs lang und wog nur 70 Pfund, so dafs ein einzelner Mann sie bequem handhaben und einstellen konnte. Sie hob Steine von 1 bis 2 Cubikfufs ganz sicher. Der eine Arm hatte zwei etwa 3 Zoll von einander abstehende Zinken, der andre endete nur in eine Spitze. Sie fafste mit grofser Sicherheit die Steine, und liefs sie selbst dann nicht fallen, wenn sie nur von zwei Spitzen berührt wurden, und, wie häufig geschah, beim Aufheben sich um diese drehten.

Die letzterwähnte Einrichtung zeigt im Gebrauch den Uebelstand, dafs die Zange beim Anziehn des Hebezeuges ihre Richtung gegen das Loth verändert, indem sie nicht symmetrisch unterstützt ist. Die Arbeiter gewöhnen sich freilich bald daran, sie schräge und in derselben Richtung einzustellen, welche sie annimmt, sobald der Stein gehoben ist. Beim Ausheben von Steinen unter Wasser ist diese Vorsicht indessen nicht anwendbar, da man die Gröfse des Steins und sonach die Lage seines Schwerpunkts nicht sicher beurtheilen kann, auch das tiefere Einstellen eines Arms oft nicht möglich ist. Bei der in Fig. 224. angegebnen Anordnung, die beim Bau der Brücke zu Melun gewählt wurde *), ist dieser Uebelstand dadurch beseitigt, dafs man den Stein nicht allein an dem Zugtau hebt, sondern ihn aufserdem durch den Stiel des einen Arms der

*) *Annales des ponts et chaussées.* 1838. I. Seite 234.

Zange unterstützt. Ueber den Gebrauch dieses Apparats ist nur zu erwähnen, dafs man die Zange mittelst der Leine *A* öffnet, welche durch die Oese *B* des ersten Armes gezogen und am Ende des zweiten ohnfern *D* befestigt ist. Ein Arbeiter führt den Stiel, und faſst die vordere Seite des zu hebenden Steins, während ein zweiter Arbeiter das erwähnte Tau hält und zugleich das Zugtau mit der Hand anzieht, um die Zange zu schlieſsen, sobald man sich durch Hin- und Herrücken der letztern davon überzeugt hat, dafs sie gehörig eingreift. Das Ende des Zugtaues ist in der Oese *C* des ersten Armes befestigt, und über die eiserne Scheibe *D* am Ende des zweiten geführt. Von hier geht es nach der Scheibe auf dem Krahnbalken und zuletzt nach der Winde *E*. Diese Winde kann mittelst eingesteckter Hebel gedreht werden, und sobald sie in Wirksamkeit tritt, hebt das Zugtau nicht nur den Stein, sondern schlieſst zugleich die Zange. Der auf dem Fahrzeuge liegende Stiel hindert aber die Zange, ihre Richtung stark zu verändern. Die schwerste Zange dieser Art, von $1\frac{3}{4}$zölligen Eisenstangen geschmiedet, wog 96 Pfund und hob Steine von 32 Cubikfufs, also nahe von 50 Centnern. Die Arme dieser Zange waren an den untern Enden in drei Zinken gespalten. Andre Zangen von derselben Einrichtung waren kleiner und wurden ohne Windevorrichtung nur mit der Hand, und zwar durch einen Arbeiter eingesetzt und zugleich mit den Steinen gehoben. Die kleinste Zange wog nur 7 Pfund. Alle sollen sich beim Gebrauch sehr bequem gezeigt haben.

Das Prinzip, wonach die Zange ungefähr durch dieselbe Kraft geschlossen wird, womit die Zugkette gespannt ist, läſst sich auch ganz symmetrisch anwenden, wodurch zugleich die Drehung der Zange, sobald der Stein darin hängt, aufhört. Fig. 225. zeigt eine solche Anordnung, und diese dürfte besonders zweckmäſsig sein. Die Durchführung des Taues über eine Rolle in dem einen Arm nach dem andern, ist hier auf beiden Seiten gleichmäſsig angebracht. Wenn man die geringe Neigung der Taue zwischen den Armen der Zange unbeachtet läſst, so würden diese an der Stelle, wo die Taue befestigt sind, mit einer Kraft zusammengedrückt werden, welche der Summe der Spannungen in beiden Tauen gleichkäme. Diese Kraft ist daher unter Beibehaltung der obigen Bezeichnung

$$= \frac{M}{\mathrm{Cos}\,\beta}$$

also jedenfalls gröfser, als der Zug, womit die Zange gehoben wird. Diese Kraft verhält sich aber zu dem Druck, den die Enden der Zange auf den Stein ausüben, wie die Länge der untern Arme zu derjenigen der oberen.

Zum Fassen der unter Wasser liegenden Steine bedient man sich auch der Hakenkeile, die wesentlich mit derjenigen Steinklaue übereinstimmen, womit Telford beim Bau des Hafendammes von Inverness die Werkstücke versetzte (§. 4.), und die Figur 18. auf Taf. II. gezeichnet ist. Der Unterschied beruht nur darauf, dafs die Oeffnung im Stein unter Wasser dargestellt werden mufs, also nur ein cylindrisches Bohrloch sein kann, aufserdem aber wird in diesem Fall der feste Schlufs durch eine keilförmig zugeschärfte Eisenstange bewirkt, die sich bis über den Wasserspiegel verlängert, damit man sie gehörig eintreiben kann. Indem das Bohren unter Wasser bei Gelegenheit des Steinsprengens ausführlich behandelt werden wird, so bleibt auch die nähere Beschreibung des Hakenkeils bis dahin vorbehalten.

Der Hakenkeil eignet sich vorzugsweise zum Fassen und Heben sehr grofser Steine, die tief unter Wasser liegen. Wie es scheint, benutzte Thunberg beim Bau des Hafens von Carlscrona zuerst denselben, doch ergiebt sich nicht aus der Beschreibung dieses Baues *), wie grofs die Steine waren und aus welcher Tiefe sie gehoben wurden. Seitdem hat man vielfach diesen Keil mit günstigem Erfolg zu gleichem Zweck benutzt. Dieses ist auch bei Beseitigung mehrerer Steine vor der Mündung der Dange im Memeler Hafen geschehn. Der Hafen-Bau-Inspector Veit, der diese Arbeit leitete, hat das dabei beobachtete Verfahren ausführlich und unter Beifügung mancher interessanten Bemerkungen **) beschrieben, woraus Folgendes entnommen ist.

Die fortzuschaffenden Steine bestanden in grofsen Granitblöcken, welche von den in der Dange einlaufenden Schiffen umfahren werden mufsten, und wiederholentlich zu bedeutenden Havarien Veranlassung gegeben hatten. Sie lagen in ihrer Oberfläche etwa 9 Fufs unter Wasser. Ihre Gröfse war so bedeutend, dafs man davon abstand, sie im Ganzen zu heben, woher sie vorher gesprengt wur-

*) *Essais de bâtir sous l'eau, faits à la construction du nouveau bassin à Carlscrona, par Fellers. Stockholm* 1776.

**) Beiträge zur Kunde Preufsens. Bd. I. Königsberg 1818. Seite 215.

den. Nachdem dieses geschehn, versuchte man zunächst die einzelnen Stücke mit einer Teufelsklaue herauszubringen, die im Eisen etwa 14 Centner wog. Der Versuch mifsglückte indessen aus mehreren Gründen. Die Zange öffnete sich nur 6½ Fufs weit, und umspannte daher die meisten Stücke gar nicht. Diese liefsen sich auch nicht von einander so weit entfernen, dafs man den einen Arm der Zange in die beim Sprengen gebildete Trennungsfuge hätte einbringen können. Aber selbst die kleinern Stücke, die man fassen konnte, wurden durch die Zange nicht gehoben, da sie zu tief im Sande steckten. Man versuchte zwar den Sand durch Baggern zu beseitigen, derselbe floís indessen jedesmal wieder so schnell hinzu, dafs die Steine sich nicht gehörig frei legen liefsen. Aus diesen Gründen mufste ein andres Verfahren gewählt werden, und man entschlofs sich, den Hakenkeil anzuwenden.

Das Sprengen dieser Steine war schon während des Winters begonnen, da man gehofft hatte, dafs auf der festen Eisdecke die Arbeit besonders leicht auszuführen sein würde. Es traten dabei aber so viele Schwierigkeiten und Unterbrechungen in Folge der ungünstigen Witterung ein, dafs man es passender fand, dieses bei offenem Wasser zu thun. Im Mai 1816 wurde mit dem Ausheben der gesprengten Steine der Anfang gemacht.

Zu einem regelmäfsigen Betriebe der Arbeit war die Aufstellung einer festen Rüstung nothwendig. Diese mufste aber nicht nur so stark sein, dafs man die Steine daran heben konnte, sondern sie mufste sich auch leicht versetzen lassen und überdies den Raum so wenig beschränken, dafs der im Hebezeuge schwebende Stein auf untergeschobne Prahme herabgelassen werden konnte. Diese Bedingungen wurden durch einen grofsen dreibeinigen Bock erfüllt. Derselbe bestand aus drei Rundhölzern von 70 Fufs Länge und 18 Zoll Stärke am Stammende. Das Aufrichten des Bocks konnte auf der Baustelle selbst nicht erfolgen, wohl aber boten die in der Dange liegenden gröfsern Seeschiffe die dazu erforderlichen festen und hohen Stützpunkte. Der Bock wurde also in der Dange aufgestellt, und die drei obern Enden desselben durch Taue verbunden. Die Wassertiefe betrug hier etwa 12 Fufs und die drei Stämme waren im Wasserspiegel 43 Fufs von einander entfernt. Man kuppelte nunmehr drei grofse Prahme von 33 Fufs Länge und 15 Fufs Breite so zusammen, dafs sie unter den Bock gefahren

werden konnten, und die drei Beine desselben beinahe berührten. Ueber zwei von diesen Prahmen wurde ein langer cylindrischer Baum gelegt, woran zwei Beine des Bockes zugleich aufgewunden wurden, und für das dritte diente eine zweite gleiche Winde auf dem dritten Prahm. Durch angeknebelte grofse Hebel setzte man die Winden in Bewegung und hob den ganzen Bock, so dafs er etwa 2 Fufs über dem Grund schwebte. Man konnte ihn nunmehr leicht über jeden Stein bringen und daselbst niederlassen, und zwar wurde er so aufgestellt, dafs das eine Bein nach derjenigen Stelle des Ufers gerichtet war, wo die Erdwinden sich befanden.

Drei starke Rundhölzer wurden alsdann zwei Fufs über Wasser an die Beine des Bocks gebunden, und darauf Bohlen gelegt, die eine bequeme Rüstung bildeten, welche auch an jeder beliebigen Stelle leicht geöffnet werden konnte. Ehe man die Bohrlöcher machte, wo die Keile eingesetzt werden sollte, mufste man sich ein möglichst deutliches Bild von der Lage und Ausdehnung jedes Steins zu verschaffen suchen. Zu diesem Zweck steckte man lothrecht rings umher Stangen in den Grund. Sie gaben über Wasser die Form des Steins an, und man bohrte darin zwei Löcher zur Aufnahme der Hakenkeile, und zwar wählte man die Stellen so aus, dafs die Last sich möglichst gleichmäfsig auf beide vertheilte.

Jeder Flaschenzug, womit ein Hakenkeil gefafst wurde, bestand aus einem drei- und einem vierscheibigen Bock. Die hierin eingeschornen Taue wurden über Fufsblöcke gezogen, welche an zwei vom Ufer abgekehrte Beine des Bocks befestigt waren. Von hier liefen die Taue nach den auf dem Ufer stehenden zwei Erdwinden, deren jede mit acht Mann besetzt war. Bevor jedoch das Heben des Steins erfolgte, wurde schon der Laufboden zugleich mit den drei an den Bock gebundnen Bäumen beseitigt, um den Stein sogleich bis zur erforderlichen Höhe aufwinden und auf Prahme legen zu können.

Das erste Anziehn der Winden war am mühsamsten. Nachdem der Stein gelöst war, hob er sich leichter, doch mufste die Kraft wieder vergröfsert werden, sobald er aus dem Wasser trat. Man hob den Stein etwa 5 Fufs über den Wasserspiegel, schob dann zwei mit einander verbundne Prahme, die eine leichte Rüstuung auf untergelegten Rollen trugen, darunter, und liefs den Stein herab. Er wog 16,000 Pfund, oder hielt nahe 100 Cubikfufs.

Dieser erste Stein war einer der kleinsten, die andern hatten gröfsere Dimensionen. Einer derselben, der noch am Ufer der Dange liegt, ist 12 Fufs lang, 9 Fufs breit und 7 Fufs hoch. Derselbe wiegt 80,000 Pfund und hält nahe 500 Cubikfufs. Bei den gröfsern Steinen wurden indessen theils stärkere Hakenkeile von 3 Zoll 6 Linien Durchmesser, theils aber drei oder vier derselben angewendet. Man bemühte sich indessen immer, die Last möglichst gleichmäfsig auf sie zu vertheilen. Für jeden Keil mufste ein besondrer Flaschenzug nebst Erdwinde eingerichtet werden. Die Fufsblöcke waren aber immer an den beiden vom Ufer abgekehrten Beinen des Bocks befestigt.

Einmal ereignete es sich, dafs eines der Zugtaue brach, nachdem der Stein schon aus dem Wasser gehoben war. Der Stein drehte sich augenblicklich, und in Folge dieser Drehung brachen die andern beiden Haken gleichfalls. Die Prahme zum Aufnehmen des Steins waren glücklicher Weise noch nicht untergeschoben.

Die Kosten für das Bohren eines der gröfsern Bohrlöcher betrugen 4 Thlr., für das Umsetzen des Bocks 6 Thlr., und für das Einsetzen der Keile und Heben eines Steins mit Einschlufs des Transports nie über 20 Thlr., woher selbst die gröfsten Steine ohne Rücksicht auf die Anlagekosten und Abnutzung des Inventariums nur einen Kostenaufwand von etwa 40 Thlrn. verursachten.

In gleicher Weise wurde auch im Tay-Flusse unterhalb Perth in Schottland ein Stein gefafst, der über 80,000 Pfund wog, dessen Oberfläche etwa 5 Fufs unter dem niedrigsten Wasser lag. Man hob ihn unter Benutzung der täglichen Fluth, indem man ihn an zwei Lichterfahrzeuge hing, die ihn während fünf Fluthen aus dem Grunde zogen *), indem er, sobald er frei im Wasser schwebte, jedesmal auf den ansteigenden Grund geschoben wurde.

---

*) *Civil Engineer and Architect's Journal.* Vol. I. p. 44.

Fortsetzung des neunten Abschnittes im dritten Bande.

Ende des zweiten Bandes.

A. W. Schade's Buchdruckerei (L. Schade) in Berlin, Stallschreiberstr. 47.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.